

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.com

П. С. КУДРЯВЦЕВ

ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

ТОМ



ОТ ДРЕВНОСТИ
ДО МЕНДЕЛЕЕВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР

МОСКВА • 1956

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Во втором издании книга подверглась существенной переработке, главным образом в первой части, написанной в основном еще до войны. В целом же структура книги и её целевая установка остались без изменений. Книга не является ни учебником, ни учебным пособием, хотя, насколько мне известно, нередко использовалась в качестве последнего в ряде высших учебных заведений.

Критика ставила автору в упрек то, что он не решал проблем методологического характера, таких, например, как проблема периодизации, и распределял материал более или менее свободно, посвящая большие куски Галилею, Ньютону и т. д. Эти упреки были бы справедливы, если бы автор ставил перед собой цель написать учебник или специальную монографию. Но его главной задачей, как это было указано в предисловии к первому изданию, было помочь преподавателю физики «оживить и углубить преподавание самой физики, насытить курс красочными историческими фактами, представить основное понятие и законы не догматически, а в их развитии».

Для преподавателя история физики ассоциируется прежде всего с именами авторов физических законов и открытий: Галилея, Ньютона, Ломоносова, Фарадея, и поэтому он легче всего ориентируется в историческом материале именно по этим вехам. Вот почему, несмотря на упреки критиков, сохранён характер названия глав книги.

В предисловии к первому изданию автор отмечал неоценимую помощь, оказанную ему его учителями профессорами Московского университета. С чувством глубокой скорби он отдаёт здесь долг памяти и благодарности скончавшимся учителям: В. К. Аркадьеву, С. И. Вавилову, А. К. Тимирязеву. Их неизменное участие вдохновляло и ободряло автора.

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Работа над этой кнйгой была продиктована необходимостью дать в руки моим слушателям курса истории физики учебное пособие. Однако, по мере обдумывания её плана и структуры, первоначальная цель заменилась другой, предусматривающей интересы более широкого круга читателей, в первую очередь — учителей.

Нельзя не признать, что знакомство с историей физики позволяет оживить и углубить преподавание самой физики, насытить курс красочными историческими фактами, представить основные понятия и законы не догматически, а в их развитии. Понятен поэтому интерес преподавателя физики к истории своей науки; помочь ему, хотя бы в некоторой мере удовлетворить этот интерес и должна была по замыслу автора эта книга.

Но желание дать в руки учащемуся высшей школы и учителю пособие по истории физики ещё не могло однозначно определить её характера. История физики — предмет обширный: одно изложение её фактов заняло бы под силу одному человеку. Это — задача научного коллектива, и нет сомнения, что её актуальность приведёт к созданию такого труда. В настоящей работе мне надо было как-то ограничить и отобрать обширный материал, тем более что узкие рамки лекционного курса властно диктовали необходимость такого отбора.

Руководящей мыслью автора, определившей отбор материала, план и структуру книги, было стремление представить в связной и последовательной форме эволюцию основных физических воззрений, описать процесс формирования основных понятий и концепций физики. Физика по существу своему глубоко мировоззренческая наука. В периоды радикального преобразования общественных отношений физические воззрения становились предметом ожесточённой идеологической борьбы. Достаточно вспомнить процесс Галилея, борьбу вокруг ньютоновских «Начал», деятельность французских материалистов в период подготовки французской революции.

Эта борьба с особенной остротой и силой развернулась в эпоху империализма и пролетарской революции. В бессмертном творении Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» с непревзойденной глубиной анализируются причины кризиса современной физики, вскрывается классовая подоплёка идеологической борьбы, развернувшейся вокруг новых физических открытий. Ленин гениально предвидел, что эта борьба будет обостряться и развиваться, что махизм, являясь сам скрытой формой реакции, ведёт к неприкрытой оголтелой реакции. Известно, что это предвидение Ленина оправдалось в канун развязывания второй мировой войны, когда фашистские идеологи открыто восхваляли средневековое мракобесие. Эта борьба после окончания войны необычайно обострилась, составляя одно из звеньев единой цепи, которой реакция надеется сковать и остановить историческое движение человечества к коммунизму.

При догматическом изложении физических законов понимание глубокой идейной направленности физики утрачивается. Помочь читателю почувствовать эту направленность, ощутить мировоззренческий характер физической науки — в этом заключалась основная цель автора, которой было подчинено всё остальное. Главное внимание автора было обращено на процесс формирования основных физических воззрений, и роль того или иного деятеля оценивалась тем, насколько он умел ломать старое и создавать новое. И может быть в том или ином месте распределение материала покажется читателю непропорциональным (как, например, глава о Галилее), но оно целиком вытекает из задач, поставленных автором.

Концентрируя внимание на процессе формирования физических воззрений, автор стремился довести мысли основоположников физической науки в их чистоте и непосредственности. Этим объясняется большое количество цитат, придающих книге полухрестоматийный характер. Но по опыту своего преподавания мне известно, с каким интересом слушатель реагирует на живое слово классика науки, и помочь преподавателю получить хотя бы в выдержках этот материал было одним из желаний автора.

Таким образом эта книга не является, строго говоря, историей физики. Это скорее очерк истории развития физических воззрений. Но, конечно, основные факты истории физики должны были найти в нём своё место. При отборе этих фактов главное внимание обращалось на те, с которыми преподаватель физики сталкивается повседневно в своей практической деятельности. Следует отметить, что проверка точности исторических фактов — дело особенно трудное. Так, например, считалось, что известный труд Розенбергера «История физики» является вполне respectableм с точки зрения изложения фактической истории физики. Говорили, что этот труд неудовлетворителен в идеологическом отношении, устарел, но в основном объективно отражает историю физики, и потому ссылки на него встречались и встречаются в большом количестве. Но это не так. Достаточно сказать, что во всем курсе Розенбергера ни разу не упоминается Ломоносов, зато сообщаются сведения чуть ли не о каждом немецком учителе гимназии, чтобы установить цену «объективности» этого руководства. Работа по воссозданию действительно объективной, неискажённой истории физики только началась, но уже теперь можно видеть, как велико идейное значение русской физики в развитии мировой науки. В этом томе деятельность русских ученых освещается в связи с общим ходом развития физики. К сожалению, недопустимое пренебрежение к истории отечественной науки и традиции раболепия перед иностранщиной привели к тому, что наши преподаватели совершенно не знают истории отечественной физики. Поэтому во втором томе труда, посвящённом возникновению и развитию современной физики, мы предполагаем дать очерк истории отечественной физики.

Предмет истории Физика (как и любая другая отрасль человеческого знания) не представляет собой застывшего комплекса законов и положений; на всём протяжении своего существования она изменялась: менялось содержание физики — одни области выделялись из неё, другие, наоборот, включались; менялись методы физического исследования и особенно быстро и радикально менялись физические теории. В истории физики и рассказывается о том, как происходили все эти изменения.

Но если бы история физики ограничилась только этой задачей, она играла бы роль простого придатка к физике, правда очень полезного, но всё же придатка. Роль истории физики сводилась бы к «рассказу о днях минувших», к фиксации достижений и заблуждений отдельных учёных. Так именно и выглядит буржуазная история физики. Нет сомнения, что тщательное изложение фактического хода событий имеет своё значение для физика, способствуя повышению его эрудиции, но оно не исчерпывает содержания истории физики. История физики должна показать, например, не только, чем физика Аристотеля отличается от физики Декарта, но и объяснить, почему отличается. Она должна указывать причины, вызвавшие изменение задач и методов физической науки при переходе от одной эпохи к другой. Изучая смену физических теорий, часто приводящую к кризисам, история физики должна вскрывать причины и закономерности таких кризисов и анализировать пути их преодоления. Другими словами, история физики должна поставить ещё задачу изучения закономерностей и движущих сил развития физической науки.

Источник
происхождения
идей

Нельзя сказать, чтобы буржуазная историческая наука не пыталась ставить таких задач. Но до тех пор, пока исходили из идеалистического тезиса, что дух, сознание является первичным, а материя вторичным, до тех пор решение этих задач было невозможным. На первый план неизбежно выдвигалась произвольная, неконтролируемая деятельность отдельных гениальных лиц, создающих основные руководящие идеи. Можно на примере показать несостоятельность такой концепции. Аристотель был безусловно гениальной личностью. Его глубоко интересовала природа движения, и он затратил немало труда на ее исследование. И всё же динамика Аристотеля порочна в своей основе, противоречит обыкновенным фактам, а динамика Ньютона полнее и вернее отражает законы механического движения. Мы видим, что два гения, занимаясь одним и тем же вопросом, в разных исторических условиях решают этот вопрос по-разному. В приведённом нами примере нельзя даже сослаться на то, что в распоряжении Ньютона находилось больше фактического материала, чем у Аристотеля. Галилей, предшественник Ньютона, начинал с того же материала в области динамики, которым располагал и Аристотель.

Очевидно, с идеалистических позиций трудно объяснить различие воззрений Аристотеля и Ньютона на механическое движение, в лучшем

случае можно отделаться общей фразой об исторической обстановке. Единственной точкой зрения, позволяющей ответить на вопрос об источнике идей, о законах развития духовной деятельности человечества, является точка зрения исторического материализма. Она позволяет объяснить целый ряд процессов в развитии науки, совершенно «необъяснимых», «мистических» с идеалистической точки зрения.

Вопрос о возникновении научного познания идеалисты рассматривали так, что в голове человека уже содержатся а priori данные научные истины. Таково, например, по Канту, происхождение евклидовских аксиом. Такое воззрение ничего не объясняет и только способствует закреплению религиозных предрассудков в интересах эксплуататорских классов.

Марксистско-ленинская наука считает, что сознание человека, отличающее его от животного, развилось постепенно в процессе труда. В своей замечательной работе «Роль труда в процессе очеловечения обезьяны» Энгельс пишет: «Благодаря совместной деятельности руки, органов речи и мозга не только у каждого в отдельности, но также и в обществе, люди приобрели способность выполнять все более сложные операции, ставить себе все более высокие цели и достигать их. Самый труд становился от поколения к поколению более разнообразным, более совершенным, более многосторонним. К охоте и скотоводству прибавилось земледелие, затем прядение и ткачество, обработка металлов, гончарное ремесло, судоходство. Наряду с торговлей и ремеслами появились, наконец, искусство и наука» (курсив мой. — П. К.)¹.

Итак, наука возникла только на определённой ступени развития производительных сил, её развитие с самого момента возникновения было обусловлено производством. Значит, для ответа на вопрос: почему менялись содержание и методы науки, надо проанализировать состояние производительных сил и производственных отношений в соответствующие исторические эпохи. В «Диалектике природы» Энгельс высказывается по этому поводу чрезвычайно конкретно: «Необходимо изучить, последовательное развитие отдельных отраслей естествознания. — Сперва астрономия, которая уже из-за времен года абсолютно необходима для пастушеских и земледельческих народов. Астрономия может развиваться только при помощи математики. Следовательно, приходилось заниматься и последней. — Далее, на известной ступени развития земледелия и в известных странах (поднятие воды для орошения в Египте), а в особенности вместе с возникновением городов, крупных построек и развитием ремесла развилась и механика. Вскоре она становится необходимой также для судоходства и военного дела. — Она тоже нуждается в помощи математики и таким образом способствует ее развитию. Итак, уже с самого начала возникновение и развитие наук обусловлено производством»².

С этими мыслями Энгельса перекликаются и высказывания наиболее вдумчивых буржуазных учёных. Так, в статье проф. Н. А. Умова «Специальное образование» мы читаем: «...история наук показывает, что установлением своих основных истин и — частью — своим дальнейшим ростом они обязаны запросам жизни. Геометрия вышла из потребности съёмки планов, возведения зданий и т. п., механика — из потребности перемещать значительные тяжести, ограждать себя от нападения врагов... Физики-теоретики были в то же время конструкторами микроскопов, телескопов, маячных фонарей, телеграфов, прокладчиками подводных кабелей и т. д. Точные исследования свойств газов вышли из потребности усовершенствовать паровую машину. Потребности в передаче мыслей на расстояние,

¹ Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1952, стр. 138.

² Там же, стр. 145.

в освещении, в передаче сил и т. д. послужили быстрому развитию наших знаний об электричестве. Химия зародилась при выплавке и обработке металлов, приготовления лекарственных снадобий. Гениальные открытия Лавуазье о горении и составе воды были вызваны разрешением чисто практических вопросов о наилучшем устройстве уличных фонарей, о горении свечей, о качествах питьевой воды, усовершенствования азростатов и т. д.»¹.

Мы можем прибавить, опираясь на опыт последних лет, что, например, развитие техники со времени первой мировой войны привело к образованию новых отраслей физического знания. Так, развитие радиотехники, телевидения, автоматики стимулировало развитие физики электронных приборов, физики колебаний. Вопросы получения металлов и сплавов со специальными свойствами привели к возникновению физики металлов. Теплотехника вызвала к жизни новые отрасли химической физики. В тесной связи с задачами военной техники возникло учение об ультразвуках и т. д.

Вторая мировая война привела к открытию массовых ядерных реакций, радиолокации, развитию физики и химии реактивного движения. Сообщённый этими открытиями импульс привёл к небывалому прогрессу атомной физики и электроники, открывающему необъятные горизонты для развития всех естественных наук.

Так обстоит дело с основными движущими силами научного прогресса.

**Внутренняя логика
развития науки**

Таким образом, потребность производства и экономические потребности общества вообще играют в возникновении и развитии наук основную и определяющую роль.

Но это вовсе не значит, что наука, раз она возникла и существует, не имеет своей внутренней истории, внутренних законов развития. Физика, как и другие естественные науки, имеет дело с природой, законы которой не зависят от воли и желаний людей. Исследуя в силу тех или иных причин те или иные явления внешнего мира, естествоиспытатель самой логикой исследования вторгается в такую область, изучение которой, казалось бы, не представляет никакого практического интереса. Так, интерес к оптике в XVII в. был вызван потребностями производства и связан с практической задачей построения оптических труб. Но открытие дифракции, интерференции, поляризации и дисперсии света и изучение этих явлений не имело прямого отношения к производству и явилось следствием тщательного изучения оптических явлений. Первоначальная практическая цель подменялась более сложной теоретической целью — исследованием природы света.

Задачи исследования увлекают человека в области, скрытые от непосредственного чувственного восприятия, о существовании которых люди и не подозревали. Именно так обстояло дело с изучением электромагнитных и внутриатомных явлений. Этим фактом подтверждается объективность внешнего мира, его независимость от чувственных восприятий людей, объективный характер его законов. Проникая в новую, до сих пор не познанную область явлений, исследователь руководствуется мыслью о наличии определённых взаимосвязей в этой области и, опираясь на весь предыдущий опыт познания, строит определённые гипотезы о характере этих взаимосвязей.

Борьба научных гипотез, стремление проверить гипотезу и установить закон заставляет исследователя привлекать для исследования новые факты и тем всё более и более расширять первоначально взятую область ис-

¹ Н. А. У м о в. Сочинения, т. III, изд. «Природа», 1916.

следования. В связи с этим мы приведём высказывание Энгельса в «Диалектике природы»:

«Формой развития естествознания, поскольку оно мыслит, является *гипотеза*. Наблюдение открывает какой-нибудь новый факт, делающий невозможным прежний способ объяснения фактов, относящихся к той же самой группе. С этого момента возникает потребность в новых способах объяснения, опирающегося сперва только на ограниченное количество фактов и наблюдений. Дальнейший опытный материал приводит к очищению этих гипотез, устраняет одни из них, исправляет другие, пока, наконец, не будет установлен в чистом виде закон»¹.

Развитие физической науки полностью подтверждает эти положения Энгельса. Теплота, оптика, электричество, а в наше время атомная физика доставляют огромный материал, свидетельствующий о неисчерпаемой эвристической силе гипотез.

Следует, однако, со всей силой подчеркнуть, что как бы далеко ни уведили исследователя разрабатываемые им проблемы, практика в конечном счёте оказывает решающую роль в их решении. Герц, получивший впервые в мире электромагнитные волны, и не подозревал о возможности их практического применения, но уже менее чем через девять лет после его открытия А. С. Попов передал первую радиогрaмму с его именем и тем самым открыл эру радиотехники, развитие которой имело не поддающиеся учёту последствия для развития самой физики. В 1937 г. Резерфорд, осуществивший в своё время первую ядерную реакцию, говорил, что его исследования лежат далеко от практических применений, а всего через пять лет после этого был построен первый атомный котёл, а ещё через три года взорвались первые атомные бомбы. Эти факты лишний раз подтверждают справедливость слов Энгельса, писавшего 25 января 1894 г. в письме к Г. Штаркенбургу:

«Если, как Вы утверждаете, техника в значительной степени зависит от состояния науки, то в гораздо большей степени наука зависит от *состояния и потребностей* техники. Если у общества появляется техническая потребность, то она продвигает науку вперед больше, чем десятки университетов»².

Абсолютная
и относительная
истина

Вместе с тем практика является надёжным критерием истины полученных наукой результатов, высшим судьёй в споре о справедливости той или иной гипотезы или теории.

В истории физики нередко случается, что одна гипотеза уступает место полностью противоположной. Так обстояло дело с гипотезами о природе света. Крушение гипотезы, уже превратившейся, по видимому, в прочно установленную теорию — нередкое явление в истории науки. Эти факты в истории наук зачастую приводили к пессимистическим выводам о непрочности, ненадёжности наших знаний, об их временном, относительноном характере, о невозможности познания природы и т. д. В связи с этим, махистская школа в философии провозглашала субъективный идеализм, сводя физическое исследование только к «описанию» переживаний экспериментатора. Гипотеза при этом превращается в некий удобный принцип классификации описываемых явлений. Именно так рассматривает гипотезу махист Дюгем в своей книге «Физическая теория», где он говорит:

1. «Из физических свойств, которые мы предполагаем выразить, мы выберем те, которые мы будем рассматривать как свойства *простые*... (курсив мой — П. К.).

¹ Ф. Энгельс. Диалектика природы, 1952, стр. 191.

² К. Маркс и Ф. Энгельс, Избранные соч., т. 2, стр. 484

«Соответственными измерительными методами мы создадим необходимое число соответствующих им математических символов, чисел, величин. Эти математические символы не стоят ни в какой естественной связи со свойствами, которые они выражают. Единственная связь, которая между ними существует, есть связь между знаком и обозначаемой им вещью» (курсив мой. — П. К.).

2. «Эти введенные нами величины различного рода мы связываем в небольшое число положений, которые и будут служить принципами для наших выводов. Принципы эти могут быть названы гипотезами (курсив автора) в этимологическом смысле этого слова: они действительно служат основанием, на котором будет построена теория. Но они никоим образом не претендуют устанавливать истинные связи между реальными свойствами тел. Гипотезы эти могут быть, следовательно, сформулированы произвольным образом (курсив мой. — П. К.). Единственный предел этому произволу, абсолютно непреходимый, — логическое противоречие, будь то между членами одной и той же гипотезы или между различными гипотезами одной и той же теории»¹.

Вот, следовательно, как смотрит махист на гипотезу: это принцип, вводимый произвольно, для удобства, простоты, «экономии мышления». Вполне понятно, что для него «не имеет ни малейшего значения вопрос, соответствуют ли операции, которые он совершает, реальным или даже только мыслимым физическим изменениям или нет»². Смена гипотез, как смена произвольных построений, не вызывает особых сомнений у махиста: для данной группы ощущений одни принципы более удобны, чем другие. Можно привести большое количество высказываний, аналогичных высказываниям Дюгема, но это лишнее, суть дела ясна и из приведённых выше.

Эти высказывания находятся в резком противоречии с фактами развития науки. Ни один естествоиспытатель, исследуя тот или иной конкретный вопрос, не руководится подобными «принципами». Сами Мах и Дюгем, будучи всё же физиками, нередко вступают в противоречия с собственными теоретическими установками.

В гениальной работе Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» приведено немало примеров такого рода «неувязок». Они неизбежны, если естествоиспытатель не вооружён теорией диалектического материализма. Энгельс говорил:

«Количество и смена вытесняющих друг друга гипотез, при отсутствии у естествоиспытателей логической и диалектической подготовки (курсив мой. — П. К.), легко вызывают у них представление о том, будто мы неспособны познать сущность вещей»³.

Ленин о том же самом писал:

«Новая физика свихнулась в идеализм, главным образом, именно потому, что физики не знали диалектики»...

«Отрицая абсолютный характер важнейших и основных законов, они скатывались к отрицанию всякой объективной закономерности в природе, к объявлению закона природы простой условностью, «ограничением ожидания», «логической необходимостью» и т. п. Наставшая на приблизительном, относительном характере наших знаний, они скатывались к отрицанию независимого от познания объекта, приблизительно-верно, относительно-правильно отражаемого этим познанием и т. д. и т. д. без конца»⁴.

¹ Д ю г е м, Физическая теория, ее цель и строение, пер. Котляра, 1910, стр. 25.

² Там же, стр. 26.

³ Ф. Э н г е л ь с, Диалектика природы, 1952, стр. 191.

⁴ В. И. Л е н и н, Материализм и эмпириокритицизм, 1956, стр. 244—245.

Диалектический материализм решает вопрос об относительной и абсолютной истине, в полном соответствии со всеми данными истории науки.

«Человеческое мышление, — говорит Ленин, — по природе своей способно давать и даёт нам абсолютную истину, которая складывается из суммы относительных истин. *Каждая ступень в развитии науки прибавляет новые зёрна в эту сумму абсолютной истины, но пределы истины каждого научного положения относительны, будучи то раздвигаемы, то суживаемы дальнейшим ростом знания*» (курсив мой. — П. К.), и далее:

«С точки зрения современного материализма, т. е. марксизма, исторически условны *пределы* (подчеркнуто Лениным) приближения наших знаний к объективной, абсолютной истине, но *безусловно* (подчеркнуто Лениным) существование этой истины, безусловно то, что мы приближаемся к ней. *Исторически условны контуры картины, но безусловно то, что эта картина изображает объективно существующую модель* (курсив мой. — П. К.). Исторически условно то, когда и при каких условиях мы подвинулись в своём познании сущности вещей до открытия ализарина в каменноугольном дёfte или до открытия электронов в атоме, но безусловно то, что каждое такое открытие есть шаг вперёд «безусловно» объективного познания. Одним словом, исторически условна всякая идеология, но безусловно то, что всякой научной идеологии (в отличие, например, от религиозной) соответствует объективная истина, абсолютная природа. Вы скажете: это различение относительной и абсолютной истины неопределённо. Я отвечаю вам: оно как раз настолько «неопределённо», чтобы помешать превращению науки в догму в худом смысле этого слова, в нечто мёртвое, застывшее, заостенелое, но оно в то же время как раз настолько «определённо», чтобы отмежеваться самым решительным и бесповоротным образом от фидеизма и от агностицизма, от философского идеализма и от софистики последователей Юма и Канта» (курсив мой. — П. К.).

В этих высказываниях Ленина содержится истинная картина внутреннего развития науки, вскрывается и источник этого развития. Если бы человек обладал способностью сразу открывать абсолютную истину никакая наука не была бы возможна. Но он познаёт относительную, неполную истину, по самой своей природе содержащей в себе не истину. Так возникает противоречие, толкающее исследователей на его разрешение. Но на смену снятому противоречию приходит новое и так далее, без конца. В этом живом диалектическом процессе и заключается внутренняя история развития науки, её диалектическая логика развития. В непрерывной борьбе истинного и ложного рождается безусловное, объективное познание.

Во всякой научной теории, адекватно отражающей найденные к моменту её возникновения закономерности, содержится зерно истины, её непреходящая ценность. Механика Ньютона правильно отражает закономерности механического движения больших тел и небольших скоростей. Для скоростей, близких к скорости света, она неверна и заменяется более совершенной динамикой Эйнштейна. Но динамика Эйнштейна не отменяет механики Ньютона, а включает её в себя как предельный случай. В области движения микротел механика Ньютона должна быть заменена квантовой механикой, опять-таки включающей в себя ньютоновскую механику как предельный случай. Так, из суммы относительных истин шаг за шагом складывается абсолютная истина. В истории науки смена господствующих концепций связана с огромным обогащением нашего знания и всё более углублённым проникновением в сущность вещей. Замена оптики Ньютона в начале XIX в. оптикой Френеля была обусловлена накопле-

нием фактов, глубоко вскрывающих волновую природу света. Замена оптики Френеля-Гюйгенса электромагнитной теорией света Максвелла-Герца отвечала радикальному обогащению физического знания открытием электромагнитных волн. Исследование же процессов испускания и поглощения света и его взаимодействий с атомной материей воскресило в новой форме ньютонову оптику и в дальнейшем ведёт к новым углублённым представлениям о природе света. В этих представлениях содержатся в изменённой форме и ньютоновские, и френелевские воззрения, поскольку они правильно отражали известные стороны физической реальности, именуемой светом.

Борьба
материализма
и идеализма
в истории физики

Это углубление познания, смела теорий не происходят без борьбы. Прогрессивным воззрениям в науке приходится бороться с реакционной косностью и рутинной традицией, закрепляемой классовыми интересами.

Значительнейшим фактором, тормозящим проникновение передовых научных идей в буржуазной науке, является классовая ограниченность теоретического мышления буржуазных учёных. При каждом новом повороте науки возникает необходимость теоретически проанализировать основные положения и методы науки; и здесь-то естествоиспытатели часто находятся в плену у реакционной, метафизической идеологии. Приведу в качестве примера выдержку из бредфордской речи передового деятеля физической науки Максвелла, характеризующую его воззрения на природу молекул.

«Форма и размеры планетных орбит не определены никаким законом природы: они обусловлены только особым размещением вещества в пространстве».

«То же самое следует сказать и о размерах Земли, давших основную единицу длины — метр. Но научное значение этих астрономических и земных величин ничтожно по отношению к значению меры, составляющей основу молекулярной системы. Мы знаем, что существуют естественные причины, которые могут изменять и, в конце концов, разрушить расположение и размеры планет и Солнца. Но каковы бы ни были катастрофы в небесных пространствах, в отдалённом будущем или в настоящее время, каково бы ни было разрушение старых миров и зарождение из их обломков новых, молекулы, из которых построены эти миры, — основные камни мироздания не изменятся ни в своих размерах, ни в своих свойствах. Сегодня, как и в момент творческого акта, они совершенны в числе, мере и весе» (курсив мой. — П. К.).

Печать неразрушимости, наложенная на эти свойства, поучает нас, что стремления к точности в измерении и правде в действии, считаемые нами в числе благороднейших атрибутов человека, даны нам потому, что они представляют существенные черты сотворившего вначале не только небо и землю, но и элементы неба и земли»¹.

Вот характерный образчик метафизического мышления крупного физика. Признавая изменчивость макрокосмоса, правильно оценивая закон тяготения, Максвелл не в состоянии порвать с реакционной идеологией и, впадая в неприкрытую поповщину, провозглашает неизменность сотворённых «кирпичей мироздания». В другом месте он говорит:

«Молекулы одного и того же вещества в точности равны друг другу, но отличаются от молекул других веществ. Не существует никакого правильного возрастания масс молекул, начиная с наиболее лёгкого из известных нам веществ — водорода — и кончая, например, висмутом: молекулы рас-

¹ Н. А. Умов. Сочинения, т. III, стр. 32.

падают на ограниченное число классов или родов, для которых они строго тождественны. Не найдено никаких промежуточных членов, которые связывали бы один род молекул с другим, подчиняя их известной градации».

И далее: «Каждый индивидуум в мире молекул остаётся вечным. Здесь нет рождения, разрушения, изменения, и нет никакого различия между индивидуумами одного и того же рода».

«Вот почему теория, с которой мы до такой степени освоились и известная под названием эволюционной теории, не может быть применена к молекулам»¹.

Жизнь подрезала эти установки.

Менделеев в 1869 г. установил связь между разнородными атомами в виде периодического закона, глубокое значение которого выяснила современная атомная физика.

Изучение разрядов в разрежённых газах привело к открытию сложной электрической структуры атомов; открытие радиоактивности воочию продемонстрировало разрушимость и эволюцию атомов. А современное использование атомной энергии практикой доказало разрушимость атомов. Открытая современной физикой превратимость элементарных частиц окончательно хоронит доктрину о неизменных «кирпичах здания». Однако вместо того чтобы, отвергнув метафизические положения механистического материализма, заменить их материалистической диалектикой, естествоиспытатели «свихнулись» в идеализм. Так, в частности, возник кризис физики конца XIX и начала XX в., о котором писал Ленин. Подобного рода кризисы неизбежны до тех пор, пока естествоиспытатели находятся в плену реакционной идеологии, до тех пор, пока наука находится на службе эксплуататорских классов.

Ленин писал:

«Достаточно вспомнить громадное большинство модных философских направлений, которые так часто возникают в европейских странах, начиная, хотя бы, с тех, которые были связаны с открытием радия, и кончая теми, которые теперь стремятся уцепиться за Эйнштейна, — чтобы представить себе связь между классовыми интересами и классовой позицией буржуазии, поддержкой ею всяческих форм религий и идейным содержанием модных философских направлений»².

Замена ограниченного буржуазного мировоззрения передовой философией диалектического материализма является залогом успешного преодоления всех и всяческих кризисов.

«... Мы должны понять, что без солидного философского обоснования никакие естественные науки, никакой материализм не может выдержать борьбы против натиска буржуазных идей и восстановления буржуазного мпросозерцания»³.

Эти положения Ленина блестяще подтверждаются всем ходом развития науки. Ограниченное буржуазное мышление естествоиспытателя оказывается бессильным теоретически осмыслить крутые повороты естествознания. Наблюдая смену гипотез, сплошь и рядом полярно противоположных друг другу (волны и корпускулы), естествоиспытатель нередко сравнивает развитие науки с маятником, колеблющимся между двумя крайностями. Метафизическая цель — «объять необъятное», охватить небольшой системой положений всё богатство явлений физического мира — ускользает.

¹ Н. А. У м о в, Сочинения, т. III, стр. 32.

² В. И. Л е н и н, Сочинения, т. XXVII, стр. 183.

³ Там же, стр. 187.

Стройная логическая схема, построенная по всем правилам дюгемовской конценции, рушится от небольшого вздрагивания листочков электрометра.

Всё это не может не привести и действительно приводит в классовом обществе к возникновению идеалистических конценций. Ленин писал о гносеологических корнях идеализма:

«Познание человека не есть (respective не идёт по) прямая линия, а кривая линия, бесконечно приближающаяся к ряду кругов, к спирали. Любой отрывок, обломок, кусочек этой кривой линии может быть превращён (односторонние превращён) в самостоятельную, целую прямую линию, которая (если за деревьями не видеть леса) ведёт тогда в болото, в поповщину (где её *закрепляет* классовый интерес господствующих классов). Прямолинейность и односторонность, деревянность и окостенелость, субъективизм и субъективная слепота *voilà*¹ гносеологические корни идеализма. А у поповщины (= философского идеализма), конечно, есть *гносеологические* корни, она не беспочвенна, она есть *пустоцвет*, бесспорно, но пустоцвет, растущий на живом дереве живого, плодотворного, истинного, могучего, всеильного объективного, абсолютного человеческого познания»².

Этот «пустоцвет» на живом дереве человеческого познания, как и всякий пустоцвет, препятствует плодоносному развитию этого дерева, и поэтому борьба с идеализмом становится насущной задачей материалистической науки, пронизывает всю историю её развития, принимая в разные исторические эпохи разные формы, но оставаясь одной и той же по своей сути. История физики есть вместе с тем и история борьбы материализма и идеализма в физике.

Периодизация истории физики

Высказанные выше соображения об основных движущих силах развития физики позволяют решить вопрос и о периодизации её истории. В периодизации истории физики можно исходить из её внутренней истории или из истории развития и борьбы мировоззрений или, наконец, руководиться производственно-экономическим принципом.

Периодизация истории физики, в которой исходят из фактов её внутренней истории, имеет свои преимущества. Она позволяет глубже вскрыть специфику развития физической науки, соответствует духу целостности и единства физики на всех этапах её развития. С другой стороны, эта периодизация отрывает развитие физики от развития общества, рассматривает его как внутренне самодовлеющий процесс, развивающийся «в башне из слоновой кости», что, конечно, нельзя признать научным. Вместе с тем периоды развития отдельных ветвей физики не совпадают друг с другом, и в оценке отдельных явлений, как явлений этапного значения, возможен субъективистский произвол.

Ещё более неблагоприятно обстоит дело с периодизацией по этапам мировоззрения (метафизический, стихийно-диалектический и т. д.).

Выработка мировоззрения не составляет задачи физиков, хотя достижения физики наряду с достижениями других естественных наук играют значительную роль в развитии мировоззрения. История физики — это не история философии, хотя и находится в тесной связи с последней. Одно из отличий физики от философии состоит в том, что физика связана с производством непосредственно, тогда как философия связана с ним через базис, входя в состав надстройки, соответствующей этому базису. Исходя из определяющей роли производства в развитии физики, следует принять за основу периодизации истории физики изменения в способе производства.

¹Voilà — вот.

² В. И. Ленин, философские тетради, 1947, стр. 330.

При этом, однако, необходимо учитывать связь физики с экономическим базисом и соответствующей ему надстройкой. Так, рабовладельческому способу производства соответствует первый этап развития физики, когда она ещё не выделялась из философии и не пользуется развитым экспериментальным методом. Феодалному обществу соответствует второй этап, когда физика находится в сильной зависимости от теологии и вместе с тем развитие ремесленной техники создаёт предпосылки для возникновения экспериментальной науки. Эпоха крушения феодализма (XVI—XVIII вв.) является вместе с тем периодом становления физики, как экспериментальной науки, освобождающейся от ига теологии и философии. Период развития капитализма (XIX в.) есть вместе с тем период всестороннего развития физики и её методов и, наконец, период империализма и пролетарской революции (XX в.) есть период специфического развития физики с высоко развитой техникой эксперимента, тесно связанной с военным производством в странах капитала и с задачами социалистического строительства в странах социализма. Но на всех этих этапах физика, изменяясь вместе с развитием общества и решая на каждом этапе новые задачи в соответствии с запросами общества, была единой наукой о природе и при всём разнообразии задач и мировоззрений обслуживала общество знанием законов, не зависящих от воли и желаний людей. Поэтому внутри каждого из этих основных периодов развития физики могут быть намечены вехи, отмечающие поворотные этапы в истории познания законов природы, изучаемых физикой.

Значение истории физики

В предыдущем изложении мы пытались наметить задачи истории физики. Остановимся теперь на вопросе о её значении. Для чего нужно изучение истории физики? Не достаточно ли просто знать физику?

Историю науки надо изучать для того, чтобы ответить на вопрос, куда идёт наука, как она будет развиваться. Правда, сейчас история науки находится ещё в очень несовершенном состоянии. Но стремительный прогресс науки нашего времени делает всё более настоятельной потребность разбираться в законах движения науки, и из этой потребности рождается интерес к изучению процесса развития науки. Вместе с тем история физики, обогащая физику опытом исторического познания пройденного ею пути, помогает глубже понять основы самой физической науки. Можно сказать, что история физики — это физика в развитии. Но история физики нужна не только физике. Она нужна и для теории познания, ибо она раскрывает сложный и противоречивый процесс познания человеком законов природы. Вместе с тем она вооружает человека верой в могущество его разума, показывая, как вещи, не познанные вчера, превращаются завтра в вещи познанные, в вещи для нас. Она играет огромную роль в формировании научного диалектико-материалистического мировоззрения.

Велико воспитательное значение истории физики. Она разоблачает невежество и суеверие — этих исконных врагов человеческого прогресса, помогает понять, что единственным путём для свободного и всестороннего развития науки в интересах мира и счастья людей является путь социализма.

АНТИЧНАЯ НАТУРФИЛОСОФИЯ

Развитие техники
в первобытном
и раннем рабовла-
дельском
обществе. Начатки
науки

«Труд создал самого человека» — эту глубокую мысль Энгельса следует понимать в том смысле, что решающую роль в выделении человека из мира животных, в развитии его сознания сыграл труд, производство человеком средств, необходимых для его существования. При этом переломным моментом в процессе эволюции человека был момент, когда человек начал производить орудия труда. Собираательство, строительство жилищ — все эти начальные формы производственной деятельности имеют место и в животном мире. Животные могут и использовать орудия, но только человек начал изготавливать орудия. «Процесс труда начинается только при изготовлении орудий» (Энгельс).

Первичное орудие — «ручной топор», или «рубилло», грубо обитый камень — было изготовлено в период так называемой шельской культуры. Более совершенная обработка этого орудия относится к ашельской культуре, когда появляются и следы использования огня. В следующую (мустьерскую) эпоху находят каменные наконечники и мелкие костяные орудия. Вероятно, человек в эту эпоху знает копье с каменным или костяным наконечником. Для этой эпохи найдены следы костров. Это период неандертальского человека, завершающего собой эволюцию человека в период раннего палеолита. Общество этого времени было «первобытным стадом» и уже в процессе труда выработало первоначальную речь. Биологическое развитие человека заканчивается в эпоху так называемой ориньяко-солютрейской культуры, к которой относится кромапюнский человек и гримальдийский человек, являющиеся представителями различных расовых типов. Но тот и другой человек являются вполне разумными существами, типом *Homo sapiens* (человек разумный). Здесь люди уже изготавливают составные орудия с деревянными рукоятками. Помимо рубила и скребка, изготавливаются нож, костяные иглы, пила, рыболовные крючки. На этой ступени происходит переход к устойчивой форме общества — раннему родовому обществу. Появляются примитивные формы искусства: скульптура, изображения, украшения. Появляются постоянные жилища; вместо костра находят остатки очага. Иглы свидетельствуют об изготовлении одежды. В следующую эпоху, мадленскую, составляющую вместе с ориньяко-солютрейской стадией период позднего палеолита, получает дальнейшее развитие техника. Изготавливается приспособление для метания копья и гарпун.

В эпоху раннего неолита, в период так называемой азийской культуры, находят каменные наконечники для стрел. Человек научился изготавливать лук со стрелами, новое дальнобойное орудие, сыгравшее огромную роль в его общественной эволюции. Это оружие служило

человеку до изобретения огнестрельного оружия и долгое время существовало ещё наряду с огнестрельным. Охота сделалась более добычливой, род более сильным. Вместе с тем появилось и первое прирученное человеком животное — собака. В ещё более позднюю эпоху, эпоху Маглемозе, появляется каменный топор (примерно за 6000 лет до н. э.). В дальнейшем продолжается эволюция этого орудия и появляются глиняные черенки — возникает гончарное производство. Топор ещё грубо оббивается и прикрепляется к рукоятке. В эпоху развитого неолита топор отшлифовывается и просперливается. Вероятно, в процессе обработки камня человек научился добывать огонь.

Изготовление первобытных орудий требовало не только больших физических усилий, но и напряжённой мыслительной работы. В первобытном обществе труд умственный и физический сливались в единый творческий процесс. Первобытный мастер, изготавливающий орудия, проявил огромную изобретательность и наблюдательность, он был человеком-творцом.

Постепенно эволюционировали и формы добычания средств существования. От первоначального собирательства человек перешёл к охоте и рыболовству, а затем к земледелию. Камешным топором вырубалась в лесу площадка для посева, выжигались кустарники и пни. Почва разрыхлялась мотыгой. Крупным шагом в развитии земледелия явилось приручение животных. Крупный рогатый скот появляется к концу неолита. В бронзовом веке совершается переход к плужному земледелию.

Дальнейшее развитие производительных сил связано с применением металла. Ранне всего человек познакомился с драгоценными металлами. В Египте золотые изделия датируются 6-м тысячелетием до н. э. Самородная медь в Азии используется в 6—5-м тысячелетии до н. э. Выплавка меди в Передней Азии относится к 5-му тысячелетию до н. э. Давно знали и выплавку меди в Средней Азии, Китае и Индии. В Европе выплавка меди датируется серединой 3-го тысячелетия до н. э. (на Кипре). В 4-м тысячелетии до н. э. появилась бронза (Месопотамия). За бронзой появилось железо. Первые свидетельства об изготовлении железа за 2000 лет до н. э. относятся к неграм Африки. В Египте и странах Азии употребление железа датируется 1300 г. до н. э., в Европе — 1000 лет до н. э.

Развитие производства, усложнение хозяйства привело к разделению ремесленного и земледельческого труда, к возникновению обмена и частной собственности, к нарушению соответствия между ростом производительных сил и общинно-родовой общественной организацией. Происходит распад родового строя, возникает рабовладельческий строй, появляется государство.

В процессе труда человек многое узнал. Пастухи и земледельцы установили связь времён года с положением небесных светил и положили начала астрономии. Охотники изучили повадки животных, мастера орудий накопили огромный опыт в изучении механических свойств тел. Строители применили свойства рычага, металлургия нашла способ плавить металлы. *Эти люди труда и были первыми учёными.* В народных сказаниях, песнях, былинах мы находим свидетельства об этих начатках знания. Люди знают, что звук лучше передаётся по земле, чем по воздуху (мотив подслушивания погони в народных сказках), знают, что силу можно сравнивать не только поднятием груза, но и деформацией (натяжение лука в «Одиссее»), в былине о Святогоре очень точно изображено действие и противодействие. Но ещё больше люди не знали. Человек научился побеждать природу, но природа была ещё сильна и непонятна. Это «бессилие дикаря в борьбе с природой» и явилось источником религии. Так на первых шагах возникновения зна-

ния возникает и противоречие познанного и непознанного, истинного и ложного порождающее борьбу знания с незнанием, науки и религии. Эта борьба пронизывает всю историю науки, вплоть до современных уточнённых форм религии — идеалистических теорий. С появлением классов и государства религия закрепляется интересами господствующих классов, научные знания отделяются от производителя, узурпируются правящим классом и становятся прерогативой жреческого сословия. Говоря о возникновении фантастических религиозных представлений в первобытном обществе, Энгельс писал: «Эти различные ложные пред-



Рис. 1. Древнегреческая мастерская.

ставления о природе, о существе самого человека, о духах, волшебных силах и т. д. имеют по большей части лишь отрицательно-экономическую основу; низкое экономическое развитие предисторического периода имело в качестве своего дополнения, а порой даже в качестве условия и даже в качестве причины, ложные представления о природе. И хотя экономическая потребность была и с течением времени все более становилась главной пружинойдвигающегося вперед познания природы, — все же было бы педантизмом искать для всех этих первобытных бессмыслиц экономических причин. История науки — это есть история постепенного устранения этой бессмыслицы или замены ее новой, но все же менее нелепой бессмыслицей»¹.

Начало устранения «бессмыслицы», т. е. замена фантастических религиозных представлений о мире представлениями, основанными на наблюдениях и доводах разума, и было началом подлинной науки. Наука выступила против претензий религии на монополию в «объяснении» мира и человеческого бытия и поставила своей целью объяснение мира из него самого. Но для того, чтобы поставить такую задачу и начать её решение, общественное сознание должно было достигнуть более высокого уровня развития, чем тот, на котором оно находилось в эпоху родового и раннего рабовладельческого общества.

¹ К. Маркс, Ф. Энгельс, Избранные письма, 1953, стр. 429.

Наука древнего Востока

Родной современной человеческой культуры явились страны древнего Востока. За несколько тысяч лет до н. э. в Месопотамии, Индии, Китае, Египте в долинах

рек и на морском побережье сложились крупные рабовладельческие государства. На Тигре и Евфрате в Месопотамии, Ниле в Египте, Инде и Ганге в Индии, Хуанхэ в Китае возводились плотины, рылись каналы, устраивались водохранилища. Здесь рано возникла общинная и государственная собственность на землю, что обусловило особый характер производства, который Маркс назвал азиатским. Царь-деспот и жреческая аристократия распоряжались огромными количествами земли и массами людей. Они воздвигали дворцы, храмы, колоссальные памятники вроде египетских пирамид, поглощавшие огромную массу человеческого труда. Потребности управления страной и торговли привели к развитию письменности (иероглифы, клинопись), возникшей из рисунков и узоров первобытной эпохи, которая древними финикийцами была упрощена в алфавитное письмо, ставшее основой современных европейских алфавитов. У древних шумерийцев (Месопотамия) письменность появилась уже в начале 4-го тысячелетия до н. э. Она носила характер миниатюрных картинок (пиктография), которые с течением времени, в связи с необходимостью в быстрых записях, упростились в клинопись. Материалом для письма были глиняные дощечки, на которых выдавливались знаки. С развитием вавилонской торговли эта письменность распространилась по всей Передней Азии, и, как уже было сказано, финикийцами, нуждавшимися в своих торговых отношениях в простой и удобной форме записи, была в XIII в. до н. э. преобразована в алфавит. На финикийский алфавит большое влияние оказало и египетское иероглифическое письмо. Финикийский алфавит насчитывал 22 алфавитных знака. Из него возник в дальнейшем древнегреческий алфавит. Письменность служила прежде всего правительственным и культовым целям, а также применялась в торговых сделках. Вместе с тем она способствовала сохранению начатков научных знаний и возникновению школ (Египет, Китай).

Уже у земледельческих и пастушеских народов сложились первые астрономические представления. В древнем Вавилоне, Египте, Индии и Китае велись систематические астрономические наблюдения. Эти наблюдения велись на специальных площадках, устроенных на крышах храмовых башен, и производились с такой точностью, что позволили установить явление предвращения равноденствий (Вавилон). Вавилонские жрецы знали пять планет, определили их орбиты, распределили звёзды по созвездиям. Они установили видимый годичный путь движения Солнца (эклиптика) и разделили его на двенадцать частей (созвездия Зодиака). Ими был найден способ предвычисления затмений и установлен календарь. Время по вавилонскому календарю подразделялось на сутки, лунный месяц и год на 364 суток. Сутки делились на три стражи дня и три стражи ночи, начиная с захода солнца. Вместе с тем существовало и подразделение суток на 12 часов, содержащих 360 минут. Это подразделение основано на следующем способе измерения времени. В момент, когда над горизонтом появлялся верхний край солнца, открывалось отверстие в сосуде, вода в котором поддерживалась на определённом уровне, и вода из этого сосуда выливалась в специальный небольшой сосуд. Когда появлялся нижний край солнца, малый сосуд отставлялся и заменялся большим, вода в который собиралась до захода солнца. По отношению веса воды в большом сосуде к весу её в малом сосуде определялся «шаг» солнца. Отсюда возникла и градусная мера углов, ведущая своё происхождение из Вавилона, вместе с шестидесятеричной системой исчисления. Весьма существенно, что вави-

лоняне сделали попытку установить систему мер и единиц времени была, повидимому, связана с единицей веса, которая равнялась весу воды в кубе, сторона которого равна одной десятой длины двойного локтя. Локоть представлял длину около 49,5—49,8 см. Единица веса называлась мина и составляла около килограмма; 60 мин составляли вавилонский талант.

Систематические наблюдения над небом вели египетские жрецы. На потолках египетских гробниц и храмов сохранялись карты звёздного неба. Время ночью определялось с помощью астрономических наблюдений, двём — по солнечным и водяным часам. Египетский год делился на 12 месяцев, по 30 суток, к которым в конце года прибавлялось пять праздничных дней.

Вместе с астрономией развивалась и математика, в особенности геометрия, имеющая важное значение для определения площадей земельных участков.

Высокого уровня достигла астрономия в древней Индии. Из индусских астрономических трактатов, относящихся к VI в. до н. э., видно, что индусы знали о вращении Земли вокруг своей оси и о том, что луна светит отражённым солнечным светом. В Китае с давних времён велись астрономические наблюдения. В китайской летописи Чэу Пей, относящейся к XI в. до н. э., описано определение длины тени шеста во время летнего и зимнего солнцестояния, что давало возможность сравнить изменение высоты солнца над горизонтом (гномон). В 611 г. до н. э. была сделана запись о комете в области Большой Медведицы. В это же время были известны пять планет и продолжительность года в $365\frac{1}{4}$ суток. В IV в. до н. э. китайский астроном Ши Шэнь составил звёздный каталог, содержащий 800 звёзд. В летописях, относящихся к III в. до н. э., упоминается компас. Сохранилась медная пластина компаса, относящаяся к I в. до н. э., с указателем из естественного магнита, обработанного в виде ложки (рис. 1а).

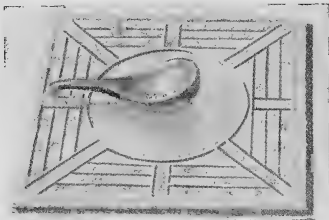


Рис. 1а.

Таким образом, в странах древнего Востока естественно-научные знания, прежде всего астрономия и математика, получали достаточно высокое развитие. Однако эти знания были монополизированы жрецами, и общее представление о мире оставалось ненаучным. Первые попытки естественного объяснения мира относятся уже к высокоразвитому рабовладельческому строю древней Греции. Греческая рабовладельческая демократия представляла собой высший тип рабовладельческого государства, и именно в Греции наивысшего расцвета достигли наука, литература и искусство древности.

Античная
натурфилософия

Особенностью античной науки было то, что она не составляла привилегии жреческого сословия, как это было по преимуществу в странах древнего Востока (за исключением Китая). Люди, занимавшиеся наукой в древней Греции, были сво-

бодные граждане, располагавшие необходимым досугом и средствами для научных занятий. Появились и профессиональные учёные и учителя, получавшие вознаграждение за свои труды и преподавание от частных лиц и государства. Здесь сложились первые научные учреждения, послужившие прототипом последующих научных организаций (академии Платона и Аристотеля, Александрийский музей). Здесь в обстановке кипучей политической деятельности развилось искусство спора, приведшее к потребности исследовать законы правильного мышления. Греция стала родиной логики и диалектического метода. Вместе с тем в Греции возникли первые философские системы, имевшие целью объяснение мира из него самого, без помощи сверхъестественных причин. В этих системах, как указывал Энгельс, «имеются я зародыше, в процессе возникновения, почти все позднейшие типы мировоззрений». Уже в древности существовало понимание громадной освобождающей силы этих попыток построить объяснение мира без помощи религии. Так, римский поэт Лукреций Кар в своей поэме «О природе вещей» характеризует научный подвиг греческого философа-материалиста Эпикура, выступившего против религиозных представлений о мире, в следующих вдохновенных строках:

В те времена, как у всех на глазах безобразно влачила
Жизнь людей на земле под религии тягостным гнѣтом,
С областей неба главу являвшей, взирая оттуда
Лицом ужасным своим на смертных, поверженных долу,
Злили впервые один осмелился смертные взоры
Против неѣ обратиться и осмелился выступить против.
И ли молва о бѣгах, ни молнья, ни рокотом грозным
Небо его запугать не могли, но, напротив, сильнее
Духа решимость его побуждали к тому, чтобы крепких
Врат природы затвор он первый сломить устремился.
Силою духа живой одержал он победу, и вышел
Он далеко за пределы ограды огненной мира,
По бесконечным пройдя своей мыслью и духом пространствам.
Как победитель, он нам сообщает оттуда, что может
Пронсходить, что не может, какая копейная сила
Каждой вещи дана и какой ей предел установлен.
Так в свою очередь днесь религия нашей пятою
Иопрана, нас же самих победа возносит до неба.

Таким образом, греческая наука с самого момента её возникновения становится на материалистический путь объяснения мира и прорывает с религиозным догматом о создании мира из ничего божеством. Наука лишена покрова таинственности, которой окружали жрецы Египта свои знания; она распространяется свободно, высказываемые научные положения и взгляды обсуждаются открыто; наилучшим способом познать истину признаѣтся спор, борьба мнений. От греков ведѣт своё происхождение и термин «диалектика». Под диалектикой понимали в древности искусство добиться истины путѣм раскрытия противоречий в суждении противника и преодоление этих противоречий.

Этот свободный и открытый характер греческой науки и составляет её коренное отличие от предшествующей науки Востока. Известный буржуазный историк греческой философии Э. Целлер писал: «В то время как у восточных народов наука всецело составляет монополию жреческого сословия и оказывается поэтому зависимой от его установлений и традиций, греческая философия, напротив . . . изначала выступает совершенно свободно и самостоятельно»...¹

¹ Э. Целлер, Очерк истории греческой философии, М., 1913, стр. 19.

Ионийская
школа

Родоначальником греческой науки история называет Милетского купца Фалеса, который вместе с тем считается основателем первого научного направления, так

называемой *ионийской школы*. Следует подчеркнуть, что в первый период своего существования греческая наука не была чем-то дифференцированным, она не была и философией. Самый термин «философия» введен Платоном и Аристотелем после Сократа, когда из единой науки стало выделяться учение о познании и мировоззрении под этим именем. В течение первых трех веков своего существования греческая наука была единой наукой о мире и его законах. Долгое время эта единая наука обозначалась термином «физиология». Уже в начале нового времени, в 1600 г. английский учёный Гильберт назвал свою книгу о магните «Новой физиологией».

В Фалесе, как основоположнике греческой науки, осуществляется и преемственная связь с наукой Востока. Самые даты его жизни устанавливаются предположительно, исходя из сохранившихся свидетельств древних, что Фалес предсказал солнечное затмение. Так как правильных представлений о движении Луны, Солнца и Земли в ту эпоху не могло ещё быть, то предсказание Фалеса могло быть сделано им лишь на основе найденного вавилонской наукой периода в 223 лунных месяца лунных и солнечных затмений («сарос»). В эпоху Фалеса случилось три затмения: 28 мая 585 г., 21 июня 597 г. и 30 сентября 610 г. Считают, что Фалесом было предсказано первое из этих затмений и, принимая его возраст в это время равным 40 годам («акмс»), датируют его рождение 624 годом, а смерть 547 г. до н. э. Другие данные: 637—559.

Историк науки и математик П. Таннери считает, что Фалес предсказал последнее из этих затмений в возрасте 27 лет. Как бы то ни было, факт предсказания Фалесом затмения свидетельствует о его знакомстве с наукой Вавилона и Египта. Об этом же свидетельствуют сведения о математических знаниях Фалеса, восходящие своими корнями к землемерному искусству египтян.

К Фалесу восходят сведения о свойстве натёртого янтаря притягивать и свойстве магнита притягивать железо, которое Фалес объяснял одухотворённостью магнита. Первооснову всего сущего Фалес усматривал в воде, из которой зарождаются все вещи и в которую они превращаются при своем уничтожении. Ещё Аристотель в своей «Метафизике» отметил материалистический характер мировоззрения ионийцев: «Таково, по их мнению, первоначало сущего, поэтому ничто не рождается и ничто не умножается, так как природа, будучи такой, сохраняется навеки». Таким образом, они порывают с религиозным догматом о творении мира из ничего и его грядущего конца, противопоставляя этому тезис о вечности и неразрушимости материи. Особенно ярко и последовательно эта концепция развита Анаксимандром.

Древний хронограф Аполлодор Афинский сообщает о сочинении Анаксимандра «О природе», написанном его автором в 547 г. до н. э. в возрасте 64 лет. Более точных сведений о рождении и смерти Анаксимандра не имеется. Ориентировочно считают, что он жил между 610 и 546 г., был учеником Фалеса. Анаксимандру приписывается знание гномона и солнечных часов в виде полусферы, в центре которой помещалось острие указателя. Ему же приписывается изготовление небесной сферы и географической карты. Анаксимандру принадлежит и первый опыт построения картины мироздания.

Вселенную Анаксимандр считает замкнутым шаром. В центре этого шара покоится в силу принципа симметрии Земля, имеющая форму ци-

липида. Сама же вселенная находится в вечном круговом движении. В этом движении возникло тёплое и холодное, образовав влажную массу, из которой в центре выделилась Земля, окружённая воздухом. Всё это облегается, как скорлупой, огненной оболочкой. Эта оболочка разбилась на кольца, увлекаемые воздушными токами, вращающимися в наклонно-горизонтальном направлении; сквозь отверстия в кольцах выбрасывается огонь, который и является небесными светилами.

Человек вышел из воды по мере её высыхания; первоначально он был в чешуйчатой оболочке, вроде рыбы. Эту мысль Анаксимандра отметил Лейбн: «Анаксимандр (610—547 до Р. Х.) утверждал, что человек произошел из рыбы»¹.

Первоосновой мира Анаксимандр считал «неопределённое» («апейрон») первоэщество. Оно неисчерпаемо, неисчерпаемо и его движение. Отдельные миры погибают в своём развитии, но возникают новые — и так без конца. Мир во времени не имеет ни начала, ни конца. Однако бесконечного пространства и бесконечности существующих вместе миров Анаксимандр ещё не знает.

Младшим представителем ионийской школы является Анаксимен. Дата его рождения и смерти ориентировочно принимают 585—584—528. Он принимает единым началом беспредельный воздух, находящийся в непрерывном движении. Разрежаясь, воздух образует огонь, сгущаясь — ветер, облака, затем воду и Землю. Земля плоская, поддерживаемая воздухом.

Итак, все ионийцы представляли единую материальную первооснову: воду, апейрон, воздух — и, хотя ещё и в очень несовершенной форме, разрабатывали материалистическую картину явлений вечного материального мира.

Пифагорейская школа

Но почти одновременно с материалистическим воззрением на мир возникают и идеалистические представления, тесно связанные с религией и являющиеся уточнённой формой религиозных представлений. Этот идеалистический взгляд на мир разрабатывался Пифагором и его последователями. Реакционный характер пифагорейства проявлялся и в тайном характере деятельности школы, политические взгляды которой отражали идеологию аристократической реакции. Про Пифагора сохранились сказания, что он был в Египте, был посвящён жрецами в тайны их священнй науки.

Характерной чертой пифагорейской школы является обожествление чисел: «Числа управляют миром». Пифагорейцы искали в числовых отношениях мистических тайн и откровений. Всомогущество чисел проявляется в том, что числовым отношениям может быть подчинено всё в мире. Сохранилось предание, что открытие несоизмеримости диагонали квадрата с его стороной Пифагор воспринял, как начало хаоса, и приказал ученикам хранить это открытие в тайне. Пифагорейцы верили в переселение душ, требовали почитания богов, предков, властей. Справедливость математически выражается квадратом, ибо она воздаёт равное равному.

Но после ионийцев нельзя уже вернуться к религиозной концепции мироздания. В своей физике пифагорейцы вынуждены были развивать представление о строении вселенной, в котором, несмотря на наличие мистических элементов, взгляды Анаксимандра и Анаксимена получили дальнейшее развитие. В этом обстоятельстве, которое мы вскрываем во всей истории науки, проявляется тот факт, что борьба между материализмом и идеализмом ведёт к победе материализма.

¹ В. И. Лени н, Философские тетради, стр. 233.

Именно об этом говорит космогония пифагорейцев, изложенная позднее у пифагорейца Филолая (470—399). Считая сферу наиболее совершенной формой, пифагорейцы учили о сферичности Земли и о её движении по сфере вокруг «центрального огня». Вокруг того же центрального огня обращаются ещё девять сфер: сфера Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера, Сатурна, Солнца, Луны, звёзд и, наконец, «противоземли» (тела, введённого пифагорейцами с целью получения гармонического числа небесных сфер — десяти). Пифагорейцы учили, что движение этих сфер сопровождается слышимыми нами музыкальными гармоничными звуками, согласованными между собой («гармония мира»). Ленин справедливо усматривал в этой космогонии пифагорейцев «намек на строение материи». Отметим, что на учение пифагорейцев о движении земли ссылался Коперник и церковь в своих постановлениях именovala систему Коперника «ложным пифагорейским учением».

Из других натурфилософских воззрений пифагорейцев упомянем об их теории «зрительных лучей», имевшей большое распространение в античной оптике. Согласно этой теории, зрение обусловлено особыми лучами, исходящими из глаз. Но вместе с тем пифагорейцы учили, что лучи от Солнца проникают «через густой и холодный эфир». Ленин в связи с этим отмечал: «Итак, тысячи лет *догадка* насчет эфира существует, оставаясь до сих пор *догадкой*. Но уже теперь в 1000 раз больше *подковов* готово, подводящих к решению вопроса, научному определению эфира»¹.

Заслугой пифагорейцев является внедрение математики в естествознание, догадка о строении вселенной. Но от пифагорейцев, в соответствии с их идеалистическими воззрениями, ведёт своё происхождение голый символизм и мистика чисел, приводящая к реакционным, антинаучным высказываниям и в наше время.

Дальнейшее развитие идей ионийской школы связано с именами Г е р а к л и т а Эфесского в Малой Азии и Парменида в Элее в Италии. Воззрения обоих мыслителей полярно противоположны, но они связаны с более глубоким проникновением во взаимосвязь материи и движения, сущности и явления, которая у древних ионийцев ещё не была раскрыта. Ионийцы не уяснили принципа движения и, выдвинув представление о материальной первооснове всего сущего, не рассмотрели вопрос об источнике развития. Этот пробел был восполнен Гераклитом, жившим в первой половине V в. Гераклит считал первоосновой мира **о г о н ь**, вечно движущийся, вечно развивающийся. Источником движения Гераклит считал борьбу противоположностей: «Противоборствующее соединяет, и из несогласия создаётся прекраснейшая гармония, и всё бывает благодаря распре». В этой непрерывной борьбе единая сущность порождает многообразие вещей и явлений, составляющих вместе единую сущность: «из всего — единое и из единого — всё». Мир — это непрерывное развитие, непрерывное изменение, обновление существующего: «мы не можем дважды погрузиться в один и тот же поток». В этом непрерывном изменении огонь становится водой, вода — землёй, и обратно: земля — водой, вода — огнём. Оба противоположных процесса существуют вместе: «путь вверх и вниз — один и тот же». «Мир, единый из всего, не создан никем из богов и никем из людей, а был, есть и будет вечно живым, закономерно воспламеняющимся и закономерно угасающим». По поводу последнего высказывания Гераклита Ленин замечает, что это «очень хорошее изложение начал диалектического материализма».

¹ В. И. Ленин, Философские тетради, 1947, стр. 226.

Уделяя большое внимание движению, развитию, Гераклит не отрывал его от материальной основы. Всё изменяется, но вместе с тем существует: «всё истинно». Последователи Гераклита абсолютизировали изменение и утверждали, что все не истинное не существует. В реку нельзя войти и однажды. Это идеалистическое абсолютизирование диалектики Гераклита является яркой иллюстрацией к глубокой мысли Ленина: «Философский идеализм есть только чепуха с точки зрения материализма грубого, простого метафизического. Наоборот, с точки зрения диалектического материализма философский идеализм есть одностороннее развитие (раздувание, распухание) одной из черточек, сторон граней познания в абсолют, оторванный от материи, от природы, обожествленной»¹.

Элеаты

Таким же идеалистическим «раздуванием» познания сущности, её превращением в абсолют, оторванный от живого материального мира, было представление о сущем Парменида (V в. до н. э.). Если последователи Гераклита видели в действительности только явления, оторванные от сущности, то Парменид, наоборот, утверждал, что всякое явление, всякое изменение есть не бытие, «не сущее». Но есть только бытие, только сущее; не бытия, не сущего нет. «Только сущее есть, не сущее же не есть и не может быть мыслимо». Отсюда отрицание всякого изменения в природе. Все изменения, наблюдаемые и воспринимаемые нами, не суть истина, а только мнение. Бытие, сущее неподвижно, неизменно, однородно, подобно сфере. Мышление тождественно сущему, ибо оно есть только мышление сущего. Отсюда критика «мнения» и, в частности, знаменитые возражения против движения, выдвинутые последователем Парменида Зеноном Элейским.

Критика Зенона, выраженная в его так называемых «апориях», дала возможность Гегелю назвать Зенона родоначальником диалектики. Мы остановимся на апориях Зенона несколько подробнее ввиду их исключительного значения в теории познания. Это нам поможет уяснить также, почему Гегель называет человека, отрицающего движение в природе, родоначальником диалектики.

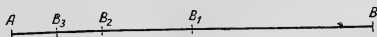


Рис. 2.

Апорий Зенона о движении насчитывается четыре. Первая из них, так называемая «Дихотомия», утверждает, что невозможно пройти конечного отрезка в конечный промежуток времени. В самом деле, пусть необ-



Рис. 3.

ходимо пройти отрезок $AB = a$ (рис. 2). Но, очевидно, что прежде чем пройти AB , надо пройти половину его $AB_1 = \frac{a}{2}$, но, прежде чем пройти AB_1 , надо пройти половину его $AB_2 = \frac{a}{4}$ и т. д. Таким образом, необходимо пройти бесконечное количество отрезков за ограниченное время, а этого сделать нельзя. Следовательно, движение невозможно.

¹ В. И. Ленин, Философские тетради, стр. 330.

Следующая апория «Ахиллес и черепаха», по существу, основана также на дихотомии. В ней Зенон утверждает, что известный своей быстротой герой троянской войны «Ахиллес быстроногий» никогда не догонит черепахи. В самом деле, пусть Ахиллес находится в A (рис. 3), а черепаха в r , на расстоянии $Ar = a$ от него. Когда Ахиллес добежит до r , то черепахи там не окажется, она будет в r_1 . В момент, когда Ахиллес прибежит в r_1 , черепаха будет в r_2 и т. д. Следовательно, Ахиллес никогда не настигнет черепаху.

Апория третья — «Стрела». Летящая стрела покоится, утверждает Зенон, ибо в каждый данный момент она занимает равное ей место, покоится по отношению к этому месту, и так как это обстоятельство справедливо в любой момент времени, то стрела в любой момент будет покоиться и, следовательно, покоится вообще.

Четвёртая апория — «Стадии». Наличие движения, по Зенону, приводит к тому нелепому выводу, что $1 = 1/2$. Пусть имеются (рис. 4) три ряда всадников $A_1 A_2 A_3 A_4$; $B_1 B_2 B_3 B_4$; $\Gamma_1 \Gamma_2 \Gamma_3 \Gamma_4$, расположенных параллельно друг другу так, что каждый всадник A помещён против соответствующего всадника B , в свою очередь помещённого против соответствующего всадника Γ . Ясно, что все три ряда всадников равны друг другу. Пусть теперь ряд A неподвижен, а ряды B и Γ движутся с равными скоростями в противоположные стороны. Когда в определённый момент всадники B и Γ займут положение, указанное на схеме, то окажется, что за один и тот же промежуток времени всадник B_1 пройдёт перед половиной ряда A и перед всем равным ему рядом Γ . В один и тот же промежуток времени, — заключает Зенон, — всадник пройдёт и весь путь и половину пути, т. е. должно быть, что $1 = 1/2$.

Прежде чем перейти к разбору апорий Зенона, укажем, что первые две из них приводят к суммированию бесконечных убывающих прогрессий. Так, обозначив скорость движения тела через v , находим для случая дихотомии:

$$t = t_1 + t_2 + \dots + t_n,$$

где

$$t_1 = \frac{a}{2v}; t_2 = \frac{a}{4v}; t_3 = \frac{a}{8v}; \dots t_n = \frac{a}{2^n v}$$

времена, затрачиваемые на прохождение последовательных отрезков AB_1 , $AB_2 \dots AB_n \dots$

Отсюда всё время, необходимое для прохождения отрезка AB , равно:

$$t = \frac{a}{v} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \dots + \frac{1}{2^n} \right) = \frac{a}{v} \frac{\frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} = \frac{a}{v}.$$

В апории об Ахиллесе, обозначив скорость Ахиллеса через V и скорость черепахи через v , найдём время, в течение которого Ахиллес догонит черепаху следующим образом: за время t_1 , когда Ахиллес достигнет r , черепаха передвинется на отрезок $rr_1 = vt_1$. За время t_2 , когда Ахиллес достигнет r_1 , черепаха пройдёт отрезок $r_1r_2 = vt_2$; за время t_3 , когда Ахиллес достигнет пункта r_2 , черепаха пройдёт отрезок $r_2r_3 = vt_3$ и т. д. Но, очевидно,

$$t_1 = \frac{a}{V}, \text{ следовательно, } rr_1 = \frac{av}{V}.$$

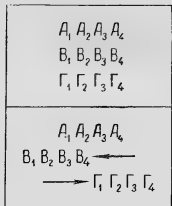


Рис. 4.

Далее,

$$t_2 = \frac{rr_1}{V} = \frac{av}{V^2}, \text{ следовательно, } r_1 r_2 = \frac{av^2}{V^2}$$

и

$$t_3 = \frac{r_1 r_2}{V} = \frac{av^2}{V^3}$$

и т. д. Время, за которое Ахиллес догонит черепаху:

$$\begin{aligned} t &= t_1 + t_2 + \dots = \frac{a}{V} + \frac{av}{V^2} + \frac{av^2}{V^3} + \dots = \\ &= \frac{a}{V} \left(1 + \frac{v}{V} + \frac{v^2}{V^2} + \dots \right) = \frac{a}{V} \frac{1}{1 - \frac{v}{V}} = \frac{a}{V - v}. \end{aligned}$$

Эти результаты, естественно, получаются сразу, как только мы введём понятие скорости. Отсутствие этого понятия в приведённых рассуждениях особенно подчёркивается прямой ошибкой в задаче о «стадиях». Ведь скорость всадника B по отношению к неподвижному ряду A и по отношению к движущемуся ряду Γ неодинакова. Если скорость B по отношению к A равна v , то по отношению к Γ она равна $2v$ и, следовательно, за один и тот же промежуток времени t путь, пройденный B относительно A , равен $s_1 = vt$, а путь его относительно Γ равен $s_2 = 2vt$, что и разрешает упомянутую апорию.

Апории Зенона получили широкое резонанс как в истории философии, так и в истории математики. Это и не удивительно, ибо в этих апориях поставлены проблемы единичного и множественного, делимого и неделимого, прерывного и непрерывного. Историк математики Таннери считал, что апории Зенона были направлены против учения пифагорейцев о точке, как единиче и своеобразном атоме линий, поверхностей, объёмов. Между тем по Зенону точка есть нуль, а сложение нулей не может дать целого отрезка. При возникновении учения о множествах вновь вспомнили апории Зенона и разрешали их с точки зрения актуальной бесконечности. Большое внимание апориям Зенона уделял в своей «Истории философии» Гегель. Он указывал, что у Зенона мы «находим истинно объективную диалектику». В связи с апориями Гегель указывает, что сущность движения нельзя полагать исчерпываемой в отдельности непрерывностью и прерывностью. Ленин передаёт соответствующий абзац из Гегеля следующим образом: «Движение есть сущность времени и пространства. Два основных понятия выражают эту сущность: (бесконечная) непрерывность *Kontinuität* и «пунктуальность» (= отрицание непрерывности, *прерывность*). Движение есть единство непрерывности (времени и пространства) и прерывности (времени и пространства). Движение есть противоречие, есть единство противоречий». Таким образом, в апориях Зенона вскрыта диалектическая природа движения; по этому поводу Гегель говорит:

«Когда мы вообще говорим о движении, то мы говорим: тело находится в одном месте и затем оно переходит в другое место. В то время, как оно движется, оно не находится больше в первом месте, но не находится также и во втором; если оно находится в одном из обоих мест, то оно покоится. Сказать, что оно между обоими, значит ничего не сказать, потому что в таком случае оно снова в одном месте, стало быть налично то же самое затруднение. *Двигаться же означает быть в этом месте и в то же время не быть в нём; это — непрерывность пространства и времени, и она-то именно и делает возможным движение*»¹ (курсив мой. — П. К.).

¹ В. И. Ленин, Философские тетради, 1947, стр. 242.

Ленин отмечает подчеркнутое в цитате место двойной чертой на полях и отметками «NB! Верно!»

Обычное метафизическое понимание движения заключается в том, что говорят: двигаться — это значит в один момент быть в одном месте, в другой момент — в другом месте.

Но «это возражение неверно, — говорит здесь же Ленин, — (1) оно описывает *результат* движения, а не *само* движение; (2) оно не показывает, не содержит в себе *возможности* движения; (3) оно изображает движение, как сумму, связь состояний *покоя*, т. е. (диалектическое) противоречие им не устранено, а лишь прикрито, отодвинуто, заслонено, занавешено».

Так из первоначальных элементов ионийской школы развились новые направления, были поставлены новые проблемы. Дальнейшее развитие науки требовало синтеза, объединения понятий сущности и явления, материи и движения. Этот синтез дали атомисты и Аристотель.

Идеалистическая критика элеатов и идеалистических последователей Гераклита не могла поколебать материалистического убеждения в вечности мира и его изменений. Тезис «из ничего ничего не бывает» продолжает утверждаться со всё большей настойчивостью и определённости. Так, Эм п е д о к л (492—432) из Агригента (в Италии) в своей поэме «О природе» утверждает:

Но и другое тебе я поведаю: в мире сем тленном
Нет никакого рожденья, как нет и губительной смерти;
Есть лишь смещение одно с разделением того, что смешалось,
Что и зовут неразумно рожденьем тёмные люди.

* * *

Глупые! Как близорука их мысль, коль они полагают,
Будто действительно раньше не бывшее может возникнуть
Иль умереть и разрушиться может совсем то, что было.
Ибо из вовсе не бывшего сущее стать неспособно,
Так же и сущее чтобы прошло, — ни на деле, ни в мысли
Вещь невозможная; ибо оно устоит против силы.

Таким образом, Эмпедокл считает вечно существующим первоначальные элементы. Возникновение и уничтожение есть не что иное, как соединение и разделение этих элементов. Такие изменения обусловлены внешними причинами противоположного характера — Любовью и Ненавистью

Речь моя будет двоякая: ибо то в множества недрах
Крепнет единство, то множество вновь прорастает в единстве.
Тленного также двояко рожденье, двояка и гибель:
Это рождает и губит всеобщий порыв к единению,
То же, разладом питаюсь, в нём вскоре конец свой находит.
Сей непрерывный обмен никак прекратиться не в силах:
То, Любовью влекомое, сходится всё воедино,
То ненавистным Раздором вновь гонится врозь друг от друга.

Таким образом, Эмпедокл следует Гераклиту, утверждая, что движение, изменение порождается борьбой противоположностей. Однако он полагает эти противоположности (Любовь и Раздор) вне материальных начал, точно так же он отходит от Гераклита и ионийцев в вопросе о едином начале.

Эмпедокл принимает четыре начала: огонь, воздух, воду и землю.

Как я раньше сказал, поясняя предел рассуждений,
Речь моя будет двоякая: ибо то в множества недрах
Крепнет единство, то множество вновь прорастает в единстве,
Огонь, и вода, и земля, и воздуха вьсь без предела,
Все их Вражда смертоносная, всем равновесная порознь,
В них же Любовь, в ширину и в длину одинакая всюду.

Воззрения Эмпедокла, при всей их значительности, были только переходной ступенью к тому высшему обобщению, которое создала античная наука на материалистической основе. Этой высшей ступенью материалистического миропонимания в древности был атомизм, развитый Левкиппом, Демокритом и позднее Эпикуром. Воззрения Эпикура были изложены в поэтической форме Лукрецием в поэме «О природе вещей».

Не случайным является то обстоятельство, что высшее достижение античного материализма падает на период наивысшего внутреннего развития Греции, период преобладания Афины, выдвинувшихся в борьбе греков с персами, построивших мощный флот, развивших рабовладельческую демократию. Политическая и культурная жизнь в Афинах эпохи Перикла была ключом. Высокого уровня достигла греческая архитектура, скульптура, литература. Развивались и научные знания: медицина, история, математика, астрономия.

Всё это давало обильный материал для обобщений, для теоретических дискуссий. Одним из первых мыслителей, учившим в Афинах в эпоху Перикла, был Анаксагор (500—428), происходивший из Клазомен в Малой Азии.

Про Анаксагора писали, что он посвятил свою жизнь науке. В эпоху Анаксагора наука приобретает профессиональный характер. Когда он прибыл в Афины, там Протагор занимался преподавательской деятельностью; Гиппократ из Хиоса, открывший способ вычисления площадей, так называемых «Гиппократовых луночек», учил геометрии; публично читал отрывки из своей истории Геродот. Большой славой пользовался знаменитый врач Гиппократ. Мало-помалу создаются предпосылки для дифференциации науки. Но пока ещё в центре внимания античных учёных стоит задача создания единого миропонимания, охватывающего всю природу в целом. Анаксагор делает новый шаг в этом направлении.

С чисто внешней стороны учение Анаксагора можно считать дуалистическим; он вводит два начала: активное — дух (или Разум) и пассивное — материю, построенную из элементов гомеомерий. Гомеомерии Анаксагора не являются простыми элементами, они содержат бесчисленное множество свойств, повторяя в малом всё разнообразие мира. Этот взгляд Анаксагор выражает словами: «во всём есть частица всего». Та частица, в которой более всего преобладает какое-либо начало, является гомеомерией этого начала: золота, мяса и т. д.

Учение Анаксагора о гомеомериях Лукреций передаёт следующим образом:

Анаксагора теперь мы рассмотрели «гомеомерию»,
Как её греки зовут, а нам передать это слово
Не позволяет язык и наречия нашего скудость,
Но тем не менее суть его выразить вовсе не трудно.
Прежде всего, говоря о гомеомерии предметов,
Он разумеет под ней, что из крошечных и из мельчайших
Кости рождаются костей, что из крошечных и из мельчайших
Мышцы рождаются мышц и что кровь образуется в теле
Из сочетанья в одно сходящихся вместе кровянок.

Анаксагор считает, что всё, «что находится в едином мире, не отделено друг от друга и не отсечено ударом секиры — ни тёплое от холодного, ни холодное от тёплого». Точно так же нераздельна единичность и множественность: «По отношению к малому нет наименьшего, но всегда сравнительно меньшее, ибо бытие не может стать небытием. И по отношению к великому есть всегда сравнительно большее (причём великое), тождественное по мик-

роскопичности малому, но по отношению к самому себе каждое одновременно и велико и мало».

Нельзя не восхищаться глубиной этого высказывания Анаксагора, получившего своё развитие только в математическом анализе. Анаксагор продолжает: «Так как частицы великого и малого одинаково множественны, всё может заключаться во всём и ничто не существует отдельно, но во всём есть частица всего. А так как нет наименьшего, ничто не может окончательно выделиться и существовать само по себе, но и теперь ещё, как и в начале, всё смешано. Множественность присуща всему, и частица выделяемого одинаково множественна, как в малом, так и в великом».

Разум положил начало разделению смешанного, образовали вещи из первичного хаоса. Он создал в одной точке мира вихревое движение, которое, распространяясь всё далее и далее, приводит к образованию мира, растений, животных, людей. Разделение происходило сначала так, что плотное, влажное, холодное и тёмное собралось там, где теперь земля, а редкое, тёплое, сухое и светлое поднялось к верхним слоям эфира. Но это разделение и эволюция происходят в силу естественного движения. Разум сыграл роль только первичного двигателя. За это идеалист Платон резко упрекал Анаксагора.

Вообще система Анаксагора вызвала против него обвинения в безбожии; он бежал из Афин в Лампсак, где и скончался.

Атомисты

Таковы воззрения предшественников атомистов: мы видим здесь признание существования первичных неизменных элементов, однако ещё качественно различных. Надлежало сделать следующий шаг — уничтожить качественное различие элементов. Этот шаг и был сделан Левкиппом и развит его учеником — гениальным Демокритом.

Демокрит (460—370) происходил из города Абдеры, находившегося в северной части Греции — Фракии, на берегу Эгейского моря. Говорят, что персидский царь Ксеркс во время своего похода гостил у отца Демокрита и оставил у него магов и халдеев, будущих учителей философа. Затем учителями Демокрита были Анаксагор и Левкипп. Демокрит изучал и Пифагора, о котором впоследствии давал резкий отзыв («Пифагор, сын Мнесарха, мудрость свою создал из многозвательства и нечистых уловок»). Отец оставил ему довольно значительное состояние, которое Демокрит истратил на путешествия. «Я из всех своих современников, — говорит он о себе, — объехал наибольшую часть земли, исследуя самое отдалённое; и я видел большее число краёв и стран; и я слушал речи большинства учёных людей и в соединении линий с доказательством никто меня не превзошёл, даже египетские, так пазываемые арпедонашты («натягиватели верёвки» — землемеры)».

Рассказывают, что Демокрит был в Вавилонии, Персии, Египте, Индии и Эфиопии. Маркс в своей докторской диссертации о философии Демокрита и Эпикура указывает на неутолимую жажду исследования как характерную черту Демокрита. Его влечёт опытное познание, он стремится расширить свой кругозор. Но он же стремится и к углублённому размышлению. Именно о нём Цицерон передаёт легенду, что он «сам себя лишил зрения, так как полагал, что размышление и соображение ума при созер-



Демокрит.

пани и уразумевании природы будут живее, когда освободятся от развлечения зрения и препятствия глаз». Наряду с этим отмечается здравость суждений Демокрита, отсутствие у него даже признаков суеверия и мистики. Рассказывают, что ночью на кладбище молодые люди, желая над ним пошутить, вышли к нему в белых саванах. «Полноте дурачиться», — сказал философ.

До нас дошло немного из произведений Демокрита. Сохранились только отрывки в рукописях других авторов. Диоген Лаэртций говорит, что лучшим сочинением Демокрита было «Мегас Диакосмос» («Великое строение мира»), от которого ничего не сохранилось. Такая печальная судьба демокритовых творений не случайна. Материализм Демокрита всегда вызывал злобу и ненависть у реакционеров, идеалистов, попов. Рассказывают, что Платон приказывал своим ученикам истреблять книги Демокрита, где бы они их не находили. Христианские попы солидаризировались с Платоном. Блаженный Августин восклицал: «лучше бы никогда не слышать имени Демокрита». Гегель в своей истории философии трактует Демокрита, как говорит Ленин, «совсем уже как мачеха». «Невыносим идеалисту дух материализма!» — отмечает Ленин. Но вопреки стараниям идеалистов, философия Демокрита пустила крепкие корни, и разработанная им атомистика является краеугольным камнем современного естествознания.

Приведём основные положения атомистики Демокрита.

1) Из ничего ничего не бывает: ничто из того, что есть, не может быть уничтожено. Всякое изменение есть только соединение и разделение частей.

2) Ничто не происходит случайно, но всё происходит по некоторой причине и необходимости.

3) Ничего не существует, кроме атомов и пустого пространства; всё же прочее есть мнение.

4) Атомы бесконечны в числе и бесконечно различны по форме. В вечном падении через бесконечное пространство большие, которые движутся скорее, ударяются в меньшие; возникающие при этом боковые движения и круговращения суть начала образования миров. Бесконечные миры возникают и снова исчезают друг возле друга и друг после друга.

5) Различие всех предметов зависит от различия их атомов в числе, величине, форме и порядке; качественного различия атомов не существует. Атомы не имеют «внутреннего состояния»: они действуют друг на друга посредством давления и удара.

6) Душа состоит из мелких, гладких и круглых атомов, подобных атомам огня. Эти атомы суть самые подвижные, и от их движения, проникающего через всё тело, происходят явления жизни.

Диоген Лаэртций в «Биографиях философов» приводит космогонические воззрения Левкиппа-Демокрита.

«Он говорит, что вселенная бесконечна... Одна часть её полное, другая — пустота; их он называет элементами (стихиями); миров же (возникает) из этого бесконечное число, и они разрешаются в (упомянутые) элементы. Возникают же миры следующим образом. Выделяясь из беспредельного, несётся множество разнообразных по формам тел «в великую пустоту»; и все они, собравшись, производят единый вихрь, в котором, наталкиваясь друг на друга и всячески кружась, они разделяются, причём подобные (отходят) к подобным. Имеющие же одинаковый вес, вследствие большого скопления, уже не в состоянии более кружиться (и вот таким образом), толстые (тельца) отступают в наружные части пустоты, словно как бы пролетая (к периферии). Прочие же «остаются вместе» и, слетаясь между собой, движутся вместе и образуют прежде всего некоторое шарообразное соединение».

«Последнее же отделяет от себя как бы «оболочку», объемлющую в себе разнообразные тела. При вращении последних, вследствие сопротивления центра, образовалась кругом тонкая оболочка из постоянно стекавшихся сплошных (масс) на периферии вихря. И таким образом возникла Земля, вследствие того, что спесённые к центру (массы) «держались вместе». И самая периферия (образовавшаяся), наподобие оболочки, продолжала увеличиваться за счёт отделившихся извне тел. А именно, будучи посима вихрем, она чего только ни касалась, то присоединяла к себе. Из них же некоторые сплетения (тел) образовали соединение, которое сперва было весьма влажным и грязным; (затем) эги (тела) высохли и стали кружиться вместе с мировым вихрем, потом, воспламенившись, они образовали природу светил».

Этот первый очерк космогонической гипотезы будет впоследствии (XVII в.) развит Декартом, а в XVIII в. Кантом и Лапласом.

Обращаясь к анализу воззрений Демокрита, мы прежде всего должны отметить основной тезис о вечности и неумираемости материи и основную идею: объяснение мира из него самого. «Естественно, впервые чувствует себя в атомистике освобождённым от необходимости указать основание существования мира». — вынужден признать идеалист Гегель.

Поряду с атомами Демокрит признаёт существование пустоты. «Эта пустота, отрицательное, противоположное утвердительному, есть также начало движения атомов; они как бы побуждаются пустотой наполнить и отрицать её» (Гегель). Пустое пространство Демокрита — это арена действия атомов, ящик, в котором они заключены и который может существовать независимо от атомов. Вечность и неизменность атомов, как указывает Маркс, означает, что время по отношению к атомам является также внешним и чуждым понятием. Эти взгляды на пространство и время впоследствии разовьются в идеи Ньютона об абсолютных пространстве и времени.

Демокрит не признаёт случайности в природе, всё происходит «по некоторой причине и необходимости». Здесь мы встречаемся впервые с постановкой весьма важного вопроса о случайности и необходимости. Демокрит решает вопрос в пользу необходимости: всё, что ни случилось, необходимо должно было случиться. Это воззрение опять-таки у ньютоналистов разовьётся в механистический детерминизм, согласно которому всё происходящее в мире уже предопределено начальными условиями.

Демокрит не признаёт качественного различия атомов, сводя их разнообразие к разнообразию величины и формы. Богатство явлений вполне может быть исчерпано порядком, числом, величиной и формой атомов, образующих тела. Демокрит не признаёт и воздействия атомов друг на друга через пустоту, они могут воздействовать только давлением и ударом.

Такова натурфилософия Демокрита. Она имела исключительное значение в истории естествознания, как гениальная попытка объяснить мир из него самого, не привлекая посторонних оснований. Воззрения атомистов оказались чрезвычайно плодотворными: ими руководились великие основатели современной физики и химии: Галилей, Декарт, Бойль, Ньютон, Ломоносов. Но в своей первоначальной форме атомистика ещё содержит много метафизического. В наше время неизменный атом Демокрита, лишённый «внутреннего состояния», превратился в неисчерпаемый, сложный мир.

Отступая от хронологического порядка изложения, мы обратимся к рассмотрению нового этапа атомистики — атомистики Эпикура (342—270), учившего уже после Аристотеля. Учение Эпикура изложено в поэме «О природе вещей» его последователя, римского поэта-философа

Луcretия Кара (94—51 г. до н. э.), дающей наиболее полное представление о нём. Кроме того, сохранились отдельные фрагменты и письма Эпикура. В письме к Геродоту Эпикур излагает основные принципы своего учения. Это прежде всего общий с Демокритом тезис: «ничто не происходит из несуществующего», точно так же как и существующее не погибает: «вселенная всегда была такой, какова она теперь, и всегда будет такой, потому что нет ничего, во что она изменится; ведь помимо вселенной нет ничего, что могло бы войти в неё и произвести изменения».

Что же такое эта вечная вселенная? Это, отвечает Эпикур, «есть тела и пространство». Пустое пространство необходимо для движения тел, иначе «тела не имели бы, где им быть и через что двигаться». Что же касается тел, то в их числе «одни суть соединения, а другие то, из чего образованы соединения». Эти последние и суть неразрушимые, неделимые атомы. Вселенная безгранична, атомы — «неделимые и полные тела» бесконечно разнообразны по форме. Число атомов каждой формы бесконечно, число же форм «не совсем безгранично, но только необъятно».

«Атомы движутся непрерывно в течение вечности». «Начала этому (этим движениям) нет, потому что атомы и пустота суть причины (этих движений)».

По Эпикуру число миров безгранично; среди них есть и похожие на наш мир и не похожие. Восприятие тел чувствами осуществляется посредством истечений «образов» от тел. Сами же атомы «не обладают никакими свойствами предметов, доступных чувственному восприятию, кроме формы, веса, величины и всех тех свойств, которые по необходимости соединены с формой».

Включение Эпикуром в число основных свойств атомов веса составляет отличие его атомистики от демокритовской. Во вселенной нет ни верха ни низа, атомы несутся через пустоту с одинаковыми скоростями. Качества тел не являются самостоятельными сущностями, но вместе с тем нельзя думать, что они вовсе не существуют или являются бестелесными субстанциями, присущими телу. Они являются неотделимыми свойствами тела, как целого, по которым оно познаётся: «Все эти свойства имеют свои специальные возможности быть познаваемыми и различаемыми, если только целое сопутствует им и никогда от них не отделяется, но вследствие совокупного представления свойств имеет название тела».

Однако у тел бывают случайные свойства, которые тоже объективно существуют, но эти «случайные свойства не имеют ни природы целого, которое мы, беря его в совокупности, называем телом, ни природы свойств постоянно сопутствующих ему, без которых невозможно представить это тело». Их надо считать, с одной стороны, случайными свойствами, не всегда сопутствующими телам и вместе с тем не имеющими самостоятельного положения в природе.

Время не должно рассматриваться субъективно, сводя его «к общим представлениям, созерцаемым у нас самих», но следует обращать мысль главным образом на то лишь, с чем мы связываем это особенное понятие в чем мы его измеряем». Эпикур указывает, что «мы связываем время с днями и ночами и с их частями, а равно и с чувствами и отсутствием чувств, с движениями и покойным состоянием», т. е. с материальными процессами. Но в связи с покоем мы думаем о времени, как «об особом каком-то виде случайного свойства, вследствие чего и называем его временем».

Миры возникают и развиваются из атомов, которые:

От бесконечных времён постоянным толчкам подвергаясь,
Тяжестью также своей гонимые, посятся вечно.
Всячески между собой сочетаясь и всё испытывая,

Что только могут они породить из своих столкновений,
То и случается тут, что они в этом страстном вечном,
Всякие виды пройдя сочетаний и разлук движений.
Сходится так, наконец, что взаимная их совокупность
Часто великих вещей собой образует зачатки:
Моря, земли и небес и племена тварей живущих.

(Лукреций)

Эти «зачатки» образовали первобытный хаос, в котором движения и столкновения частей приводили к разделению и обособлению друг от друга сходных частей: «Стало тогда от земли отделяться высокое небо, стали моря отходить, обособившись водным пространством, и выделиться огни стали чистые в дальнем эфире».

Сформировавшаяся Земля породила жизнь. Но и животные не сразу развились в современные виды. Всё, что было не приспособлено к размножению, погибало. Так, в конце концов, естественным путём возник животный и растительный мир. Люди также владели звериное существование. Они не знали орудий труда, огня. Они не умели говорить. Но постепенно люди соединялись в общества, узнали огонь, научились делать орудия, говорить, жить общественной жизнью:

Судостроенье, полей обработка, дороги и стены,
Платье, оружие, права, а также и все остальные
Жизни удобства и всё, что способно доставить усладу:
Животные, песни, стихи, ваянье искусное статуй —
Всё это людям нужда указала, и разум пылкий
Этому их научил в движении вперёд постепенном.

Так за две тысячи лет до нашего времени идея закономерного развития природы и общества возникла в умах античных мыслителей. Были сделаны первые генеральные догадки о законах этого развития.

При этом Эпикур не оставляет места для божественного вмешательства как в возникновение миров, так и в управление процессами, совершающимися в возникших мирах.

«Далее, относительно движения небесных тел, их вращения, затмения, восхода и захода и тому подобных явлений не следует думать, что они произошли благодаря существу, которое ими распоряжается, приводит или привело их в порядок и в то же время пользуется полным блаженством и бессмертием...

Естественно, что Гегель по этому поводу, сегодня, пишет: «у Эпикура... нет конечной цели, мудрости творца». Это высказывание Гегеля встретило гневный протест Ленина: «Бога жалко!! Сволочь идеалистическая!!»¹

Идеалисты и полны «почти» Эпикура зоологической ненавистью. Климент Александрийский говорит: «Смотрите, чтобы кто не увлёк вас философией и пустым обольщением по преданию человеческому, по стихиям мира, а не по Христу. Павел (апостол) отверг не всякую философию, а эпикурейскую, о которой он упоминает в деяниях апостольских, так как она отрицает провидение и всякую иную философию, которая чтит стихии, не признавая их творческой причасты, и не возвышается до мысли о творце».

Зато передовая материалистическая мысль с восторгом приветствовала стремление Эпикура освободиться от гнёта религиозных представлений. В начале этого параграфа мы приводили вдохновенные строки Лукреция, посвящённые подвигу Эпикура

Отметим в заключение изложения системы Эпикура одно существенное отличие от атомистики Демокрита, послужившее темой специального

¹ В. И. Ленин, Философские тетради, стр. 275.

исследования молодого Маркса. В отличие от Демокрита, Эпикур считает, что скорость падения атомов в пустоте одинакова и в связи с этим допускает возможность самопроизвольных отклонений атомов от прямолинейных путей; связывая эти отклонения со свободной волей у человека, он отступал от материализма. Но вместе с тем догадка о криволинейных путях атомов и понимание недостаточности механистического детерминизма Демокрита, слишком граничащего со «слепым роком», позволяют признать, что Эпикур сделал дальнейший шаг в учении о причинности. Разумеется, он не мог ещё подняться до диалектической постановки вопроса о случайности и необходимости, о причинной взаимосвязи явлений. Но в этих понятиях запутывались и физики XX в., не обладавшие диалектической выучкой.

Таковы воззрения атомистов. Глубина и значительность их подтверждаются всем ходом развития физики. Но, как и в других областях античной натурфилософии, гениальные догадки атомистов остаются пока только догадками. Физике предстояло пройти ещё длительный и мучительный путь, в процессе которого эти догадки проверялись, очищались от всего наносного и случайного и превращались в факты положительного знания. И всё же бессмертной заслугой атомистов остаётся то, что они указали путь науке... «эти гениальные догадки и указания пути науке, а не поповщина», сказал об атомистах Ленин.

В нашу задачу не входит изложение всех систем античной философии. Поэтому мы минуем Сократа и Платона. Для истории физики воззрения их не представляют интереса. Упомянем только, что по представлениям этих идеалистических философов идеи имеют самостоятельное реальное существование, а вещи — только грубые несовершенные копии идей. Так, реальный стол представляет копию совершенного стола — понятия. Эти воззрения получили большое распространение в средневековой философии.

Вместе с тем Платон выделил философию из единой науки древних, стремясь превратить её в «науку над науками». Однако его ученик Аристотель продолжал развивать единую всеобъемлющую науку о природе. К анализу трудов Аристотеля мы и обращаемся.

Аристотель (384—322), один из величайших мыслителей древности, был учеником Платона. Гениальный ученик не разделял крайне идеалистических взглядов учителя и не стал его преемником. В 343 г. он уезжает из Афин и становится воспитателем Александра Македонского. Когда последний предпринял свой знаменитый поход в Персию, Аристотель вернулся в Афины и основал свою школу в месте, называемом «Лицей». Философские беседы во время прогулок послужили основанием называть последователей Аристотеля «перипатетиками» (странствующими). После смерти Александра Аристотель подвергается нападкам и вследствие обвинения в безбожии был вынужден покинуть Афины. В изгнании он скоро умер.

Литературное наследие Аристотеля огромно. Наибольшей известностью пользуются такие сочинения: «Метафизика», «Физика», «О душе», «Этика», «Политика» и «Органон» (логика). Мы не будем здесь касаться его общеполитических концепций, а изложим только его натурфилософию.

Однако нельзя обойти молчанием вопроса о его позиции в основном философском вопросе. В средние века Аристотель был канонизирован схоластической наукой. Его называли «предтечей Христа в объяснении природы». Космогония и физика Аристотеля оказались чрезвычайно удобными для поповских учений. Таким образом, в учении Аристотеля имеются реакционные, идеалистические моменты, использованные христианской церковью. Но наряду с этим у Аристотеля имеются здоровые, материалистич-

ческие утверждения. Ленин отмечал, что Аристотель колеблется между материализмом и идеализмом.

Ленин говорил, что «Поповщина убила в Аристотеле живое и увечила мёртвое». Таким живым у Аристотеля Ленин считал его искания, его веру в объективность познания, признание реальности внешнего мира и т. д.

Переходя к изложению натурфилософских воззрений Аристотеля мы должны изложить прежде всего основы его учения о сущности. Критикуя Платона, Аристотель полагает, что объективно существуют конкретные вещи.

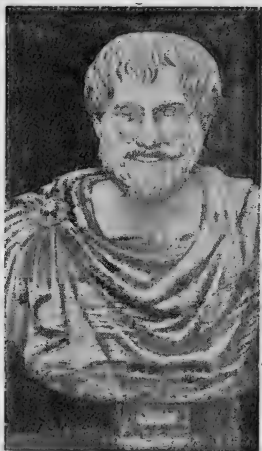
Вещи построены из материи. Однако, по Аристотелю, материя — это только «возможность». Для того, чтобы возможность преобразилась в действительность, необходимо второе активное начало: «форма». Так как «форма» у Аристотеля носит нематериальный характер, то уже в этом пункте Аристотель был дуалистом, колеблющимся между материализмом и идеализмом, «заблудившимся», «запутавшимся» человеком.

Аристотель полагает, что оформление материи, превращение материи в вещь, возможности — в действительность достигается путём третьего начала — «движения». Осуществление возможного Аристотель называет «энтелехией».

«Движение есть энтелехия существующего в потенции, поскольку оно таково», — говорит Аристотель. Поясним воззрения Аристотеля примером. Кусок мрамора по отношению к изготовляемой из него статуи является материей. Скульптор, оформляя материю, изготовляет статую Аполлона. Возможность превратилась в действительность. Природа, по Аристотелю, действует подобно скульптору. В семени дуба содержится возможность воспроизрастания дуба. Природа в процессе развития семени превращает возможность в действительность — семя превратилось в дуб.

Но скульптор изготовляет статую сознательно. Приступая к изготовлению её он ставит перед собой «цель» — воссоздать образ Аполлона. По Аристотелю, так же поступает и природа, намечая конечные цели. В соответствии с этим Аристотель различает четыре причины вещей.

«В одном значении причинной называется то, «из чего», как внутреннее ему присущее, возникает что-нибудь, например, медь — причина этой статуи или серебро этой чаши, и их родовые понятия, в другом значении «форма» и «образец»; это есть понятия сути бытия и её родовые понятия, например, для октавы отношение двух к единице, — вообще число, а также составные части понятия». Далее, причинной называется то, «откуда исходит первое начало изменения и покоя, например, советчик есть причина,



Аристотель.

для ребёнка причина — отец, и, вообще, производящее — причина для производимого и изменяющее для изменяемого. Кроме того, причиной может быть цель; это значит «ради чего», например, причина прогулки — здоровье»¹.

Это учение Аристотеля о четырёх причинах получило большое распространение в средневековой схоластике, давшей и названия этим причинам: 1) причина материальная, 2) причина формальная, 3) причина действующая, 4) конечная причина.

В учении Аристотеля о причинах ярко сказываются его колебания между материализмом и идеализмом. Аристотель признаёт объективное существование внешнего мира и в этом пункте примыкает к материализму. Однако в учении о цели он скатывается к панопцизму, к учению о божественном провидении. Материалист Эпикур, как мы видели выше, резко порвал с традицией Аристотеля, чем навлек на себя гнев идеалиста Гегеля.

Перейдем к рассмотрению взглядов Аристотеля на движение, пространство и время. Как мы уже видели, Аристотель понимает под движением процесс превращения возможного в действительное. Следовательно, Аристотель понимает под движением общее изменение. Возникновение и уничтожение, рост и убыль (количественное изменение), качественное изменение и, наконец, механическое перемещение — вот основные формы движения по Аристотелю. Двигутся вещи во времени и пространстве. «Мы говорим о движении в отношении трёх обстоятельств: «что» движется, «в чём» и «когда». Я имею в виду, что необходимо должно быть движущееся, например, человек или золото, далее в отношении чего оно движется, например, места или состояния, и когда именно, так как всё движется во времени». Как же смотрит Аристотель на пространство и время: «... можно принять, — говорит он в «Физике», — что место представляет собой нечто наряду с телами и всякое чувственно воспринимаемое тело находится в месте». Таким образом, Аристотель признает объективное существование пространства и существование вещей в пространстве. Но место не может быть ни материей, ни формой, так как форма и материя неотделимы от предмета, а для места это возможно. Тогда, что же такое место? Место — это граница, но граница эта не принадлежит самому ограниченному предмету, так как тогда она была бы формой предмета. Место может быть ни чем иным, как «границей *объемлющего* тела (поскольку оно соприкасается с *объемлемым*)» (подчёркнуто мной. — П. К.). «Тело, снаружи которого находится какое-нибудь другое объемлющее его тело, находится в известном месте. Тело, у которого этого нет, — не находится». Поэтому по Аристотелю: «Земля помещается в воде, вода в воздухе, воздух в эфире, эфир в небе, а небо уже ни в чём другом». Следует добавить к этому, что Аристотель, признавая абсолютное значение «верха» и «низа», считает, что место имеет какую-то силу.

Признавая объективное существование пространства, Аристотель стоит на материалистической позиции. Он правильно оценивает неразрывную связь движения и пространства: «место не стало бы исследовать, если бы не было известно вида движения относительно места; мы считаем, что и небо находится в месте, главным образом, потому, что оно всегда в движении». Аристотель нацупывает связь между пространственными и материальными отношениями; пространственные отношения — это материальные отношения, нет материальных тел — нет и пространства. Но, запутав-

¹ Цитаты Аристотеля взяты из книги: Аристотель, Физика, Союзгиз, М., 1936.

шись в своих чегырѣх причинах, Аристотель не выдержал до конца материалистической точки зрения. Он противопоставил место телу, оторвал пространство от тела, наделил его какой-то силой над вещами и, наконец, замкнул ограниченный мир «ничем». У атомистов пустое пространство является вмостилищем материальных атомов. С точки зрения Аристотеля пустоты быть не может. Возражая атомистам и элеатам, что в отсутствии пустоты не может быть движения («некуда» двигаться — всё заполнено), Аристотель указывает, что, во-первых, качественные изменения могут происходить и в заполненном пространстве, а во-вторых, в случае перемещения «тела могут уступать друг другу место одновременно при отсутствии какого-либо отдельного протяжения наряду с ними. Это очевидно в вихревых движениях сплошных тел и в движениях жидкостей». Эти генеральные догадки Аристотеля сочетаются с таким метафизическим принципом, как «боязнь пустоты» в природе.

Рассмотрев вопрос о пространстве, Аристотель переходит к понятию времени. Он указывает, что «время не есть движение, но и не существует без движения». В самом деле, движения могут быть быстрыми и медленными в соответствии с затрачиваемым временем. Но так как время, само не будучи движением, неразрывно связано с движением, то «ему необходимо быть чем-то при движении».

Чем же именно? Аристотель совершенно правильно указывает, что понятие времени выработалось в результате наблюдения реальных процессов: «мы время распознаём, когда разграничиваем движение, определяя предыдущее и последующее, в тогда говорим, что протекло время, когда получим чувственное восприятие предыдущего и последующего в движении» («Физика»).

В движении возникают понятия: «прежде» и «после», и создаются предпосылки для измерения движения: «... время есть не что иное, как число движения по отношению к предыдущему и последующему. Таким образом время не есть движение, а является им постольку, поскольку движение имеет число. Доказательством служит то, что большее и меньшее мы оцениваем числом, движение же большее и меньшее — временем, следовательно, время есть известное число».

Не подлежит сомнению, что в этих взглядах Аристотеля сказалось влияние значительно развитой в его время астрономической практики, разработавшей достаточно точный способ измерения времени по наблюдениям движения небесных светил. «Как одно и то же движение может повторяться снова и снова, так и время, например, год, весна или осень. Мы не только измеряем движение временем, но и время движением, вследствие их взаимного определения, ибо время определяет движение, будучи его числом, а движение — время». Время будет измерять и движущееся, и покоящееся, оно будет «мера движения и покоя».

Но какое же движение является мерой времени?

«Ведь во времени всё возникает, гибнет, растёт, качественно меняется, перемещается; поскольку всё это есть движение, постольку время есть число каждого движения». Для различных движений время, конечно, одно и то же, если они начинаются и заканчиваются в одинаковые моменты. По первым движениям является перемещение, и наиболее простым Аристотель считает равномерное круговое движение: «равномерное круговое движение является мерой по преимуществу, так как число его является самым известным. Ни качественное изменение, ни рост, ни возникновение не равномерны, а только перемещение. Оттого и время кажется движением сферы, что этим движением измеряются прочие движения и время измеряется им же».

Мы видим, что Аристотель далёк от того, чтобы оторвать время от процессов, происходящих в реальных вещах, как это сделал впоследствии Ньютон. Но непоследовательность Аристотеля сказалась в том, что он оставляет лазейку для субъективного идеализма в вопросе о времени. Время — считаемое число. Но кто может считать, как не душа? Может ли существовать время без души? Такие сомнения высказывает Аристотель и, в противоречии со всем им изложенным, склоняется к тому, чтобы признать, что «без души не может существовать время». Ясно, что за это высказывание ухватились субъективные идеалисты. Всё же ценное, что содержится в учении Аристотеля о пространстве и времени, было развито в философии диалектического материализма.

Ознакомившись с основными натурфилософскими воззрениями Аристотеля, перейдём к изложению его учения о строении вещей и мира. Рассмотрев и подвергнув критике взгляды ионийцев, элеатов и атомистов по вопросу о первичных элементах мира, Аристотель приходит к выводу, что первичных элементов может быть только четыре. Изменения в мире осуществляются борьбой первичных противоположных качеств. Такими первичными качествами Аристотель считает тепло и холод, сухость и влажность. Парным сочетанием этих качеств образуются первичные элементы: тёплый и сухой огонь, тёплый и влажный воздух, холодная и влажная вода, холодная и сухая земля. Эти элементы и образуют всё разнообразие вещей видимого мира. Им присущи по природе свойства тяжести и лёгкости. Земля по природе абсолютно тяжела, огонь абсолютно легок¹, вода и воздух занимают промежуточное положение. Поэтому в центре вселенной помещается земля, над ней располагается вода, воздух и наверху огонь. Наряду с этими элементами имеется ещё пятое начало — эфир. Эфир — это небесное начало. У Аристотеля небо противопоставляется земле. Земля имеет элементную природу, т. е. вещи, находящиеся в подлунном мире, построены из четырёх элементов, взаимно-превратимых, и потому вещи, из них построенные, разрушимы и изменчивы. Небесная же материя вечна и неразрушима. Единственные изменения в небе — это идеальные круговые движения небесных тел, осуществляемые вечным, самим по себе неподвижным, первым двигателем. Учение Аристотеля о противоположности небесного элементного мира получило большое распространение в эпоху средневековья и было одним из тех «мёртвых» моментов в философии Аристотеля, которые увековечила схоластика.

На Земле не может быть идеальных круговых движений. Движения земных тел разделяются на естественные и насильственные. Естественные движения — это вертикальные падения тяжёлых тел и вертикальные поднятия лёгких тел. Все прочие движения — насильственные и прекращаются по прекращении действия силы. Чтобы объяснить, каким образом выпущенный из пращи камень продолжает двигаться и по прекращении действия пращи, Аристотель прибегает к гипотезе «боязни пустоты»: камень выталкивает воздух, и воздушные массы, устремляясь в пустоту, образовавшуюся за камнем, толкают камень вперёд. Конечно, при этом объяснении остаётся открытым вопрос: почему же, в конце концов, камень прекращает насильственное движение и падает?

Этим мы закончим очерк античной натурфилософии. Как видим, греками были поставлены все основные проблемы теоретического естествознания: строение материи и развитие материального мира, проблема простран-

¹ Против этого воззрения Аристотеля выступал Эпикур, который указывал, что и огонь должен подниматься кверху некоторой силой, точно так же, как сила заставляет бить фонтаном кровь из раны.

ства и времени, проблема движения, проблема жизни и эволюции, причинность и случайность, строение вселенной. Греческая натурфилософия оказала могучее влияние на развитие наук. Характеризуя её значение для естествознания, Энгельс писал:

«Среди этих форм (диалектической философии. — П. К.) особенно плодотворными для современного естествознания могут стать две.

Первая — это греческая философия. Здесь диалектическое мышление выступает ещё в первобытной простоте, не нарушаемой теми мыльными препятствиями, которые сама себе создала метафизика XVII и XVIII вв. — Бэкон и Локк в Англии, Вольф в Германии — и которыми она заградила себе путь от понимания единичного к пониманию целого, к постижению всеобщей связи вещей. У греков — именно потому, что они ещё не дошли до расчленения, до анализа природы, — природа ещё рассматривается в общем, как одно целое. Всеобщая связь явлений природы не доказывается в подробностях: она является для греков результатом непосредственного созерцания. В этом недостаток греческой философии, из-за которого она должна была впоследствии уступить место другим воззрениям. Но в этом же заключается и её превосходство над всеми её позднейшими метафизическими противниками. Если метафизика права по отношению к грекам в подробностях, то в целом греки правы по отношению к метафизике. Это одна из причин, заставляющих нас всё снова и снова возвращаться к философии, как и во многих других областях, к достижениям того маленького народа, универсальная одарённость и деятельность которого обеспечили ему в истории развития человечества место, на которое не может претендовать ни один другой народ. Другой же причиной является то, что *в многообразных формах греческой философии уже имеются в зародыше, в процессе возникновения, почти все позднейшие типы мировоззрений. Поэтому и теоретическое естествознание, если оно хочет проследить историю возникновения и развития своих теперешних общих положений, вынуждено возвращаться к грекам*¹ (курсив мой. — П. К.).

¹ Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1952, стр. 24—25.

ВЫДЕЛЕНИЕ НАУК ИЗ НАТУРФИЛОСОФИИ

Исторические замечания

Система Аристотеля была наивысшим достижением единой науки древних, сформировавшейся и развивавшейся в течение трёх веков — с VII по V в. до н. э. С македонским завоеванием в истории Греции наступает новая эпоха. Её внутреннее развитие, достигшее наивысшей точки в эпоху Перикла, идёт по нисходящей линии. Завоевания Александра Македонского означали эпоху сё наивысшего внешнего развития. Распавшаяся после смерти завоевателя грандиозная империя составила совокупность эллинистических государств в Азии, в Египте, в самой Греции, существующих самостоятельно до I в. до н. э., когда в результате римских завоеваний начался новый период в истории культуры — греко-римской. В течение этого последнего периода всё сильнее обозначается упадок рабовладельческого строя. Достигнув наивысшего развития в эпоху Цезаря и Августа, рабовладельческое хозяйство всё более и более обнаруживало неспособность к дальнейшему росту производства, к развитию производительных сил. Рабство было несовместимо с прогрессом техники в области ремесла и земледелия. Раб ненавидел свой подневольный труд, эта ненависть простиралась и на орудия труда. В «Одиссее» говорится:

Раб не радуя: не прииудь

господин повелением строгим

К делу его, за работу сам не возьмется охотой ...

Маркс, характеризуя в «Капитале» рабское производство, при котором рабовладелец рассматривает раба, как одушевлённое орудие, указывает, что раб «даст почувствовать животному и орудию труда, что он не подобен им, что он человек. Дурно обращаясь с ними и с истинным сладострастием подвергая их порче, он достигает сознания своего отличия от них. Поэтому считается экономическим принципом такого способа производства применить только наиболее грубые, наиболее неуклюжие орудия труда, которые как раз вследствие своей грубости и неуклюжести трудно подвергаются порче».

Что же касается рабовладельцев, то они считают рабство и физический труд недостойными и низкими для свободного человека. Изобретения и технические усовершенствования, эксперимент не могли быть в почёте в рабовладельческом обществе. Вот, например, как характеризует Плутарх, говоря об изобретениях Архимеда, отношение к этим изобретениям как самого Архимеда, так и других представителей рабовладельческого общественного мнения:

«Не должно думать, впрочем, чтобы сам он придавал им большую цену. Для него это были большею частью как бы игрушки геометрии. Он исполнил их, уступая почётным настояниям царя Гиерона. Гиерон убеждал Архимеда перенести на время душев-

ную мощь свою от умственных вещей к телесным и дать толпе возможность ощутить силу его соображений, соединив их с практическими, полезными применениями. Механика, предмет искания и прославления, есть изобретение Эвдокса и Архита. Они хотели некоторым образом иллюстрировать геометрию (дать геометрии внешнюю прикрасу) и основать на чувственных и материальных примерах теоремы, которые трудно решить помощью рассуждений и научных доказательств. Так, для теоремы о двух средних пропорциональных, для разрешения которой мало одних рассуждений и которая, однако, необходима по отношению ко многим фигурам, они прибегли к механическим средствам и составили род мезолябии при помощи кривых линий и конических сечений. Но скоро Платон в негодовании стал упрекать их, что они поругают геометрию, лишают её достоинства, обращают в бегство раба, заставляя её от изучения бестелесных и умственных вещей переходить к чувственным предметам и прибегать, кроме рассуждения, к помощи тел, рабски изготовленных работою руки. Так униженная механика была отделена от геометрии. Она стала одним из военных искусств.

Технический прогресс

В этих условиях техника могла развиваться очень медленно и в тех областях, где она была особенно необходима (строительное дело, военная техника).

Каменные постройки в Греции появляются в конце VII в. до н. э. Переход от дерева к камню в качестве строительного материала выдвинул ряд технических задач, связанных с добычей и транспортировкой камня. Так, строители храма Артемиды в Эфесе (в VI в. до н. э.) для транспорта частей колонн применили приспособления типа катков, на которых были перевезены части весом в 16 и 18 т. Для нагрузки и разгрузки транспорта, как сухопутного, так и водного, применялись наклонные плоскости, рычаги, клинья, крюки, подъёмные механизмы. Римский инженер Марк Витрувий Поллион в своём сочинении «Об архитектуре», появившемся около 16 г. до н. э., описывает грузоподъёмные механизмы с воротом и системами блоков. Изобретение сложных блоков (полиспастов), применяемых в описанных Витрувием подъёмниках, приписывается Архимеду. Демокриту приписывается такое изобретение в архитектуре, как свод. В храме Аполлона в Дидаме, начатого постройкой в 333 г. до н. э., найдены две сводчатые галереи. В гимнасии в Пергаме (конец III в.—начало II в. до н. э.) также имеется сводчатое перекрытие над лестницей. В это же время применялись и арки.

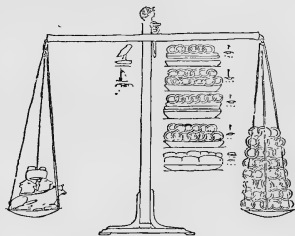


Рис. 5. Египетские весы.

Обработку камня производили при помощи тесла, долота, кузавды. Выдающимся сооружением эллинистической эпохи был маяк Фарос, построенный архитектором Состратом при входе в Александрийскую гавань. Это была трёхэтажная башня высотой около 120 м; нижний этаж имел квадратное сечение со стороной 30,5 м. Второй этаж был в форме восьмигранника; верхний, цилиндрический, служил фонарём. Маяк был и крепостью, и наблюдательным пунктом, и метеорологической станцией. При обработке дерева пользовались топором, пилой, рубанком, долотом, сверлом, отвёрткой, применяли металлические гвозди, пользовались линейкой, уровнем, отвесом, циркулем. С давних времён греки знали кузнечное дело; из кузнечных орудий той эпохи до нашего времени дошли только щипцы.

Техника обработки бронзы обогатилась в рассматриваемую эпоху применением разъемных форм для литья.

Из свинца изготавливались водопроводные трубы. Витрувий сообщает о них такие сведения: «Труба должна быть не менее 10 футов длины (2, 90 м), и каждая из них должна весить: если она 100-дюймовая — 1200 фунтов, 80-дюймовая — 960 фунтов, 50-дюймовая — 600 фунтов и т. д., если 5-дюймовая, то 60 фунтов. Размер этих труб, выраженный в дюймах, определяется по ширине не свернутого в трубку листа свинца».

Трубы были, следовательно, разных диаметров, но одинаковой толщины стенок (около 8 мм). В водопроводном деле применялись и гончарные трубы конической формы, изготовлявшиеся из глины. Колено делалось из камня, в котором просверливались отверстия.

Больших успехов добилась античная военная техника. Ис-

ходным моментом античной артиллерии был лук. Герон Александрийский описывает конструкцию лука-самострела — гастрарфет. Это был металлический лук, для натягивания которого применялось специальное приспособление с ползуном и задержкой. Отсюда возникли метательные орудия — катапульты, разделявшиеся на два класса: стреломёты (соответственно катапюльта, по-гречески *аститон*) и камнемёты (баллиста, по-гречески *палинтон*). Энергия, сообщаемая снарядом, получалась за счёт энергии кручения пучка тетив, изготовляемых из сухожилий или жёпских волос. Первые катапульты появились в Сиракузах в 400 г. до н. э. при Сиракузском тиране Дионисии, которого некоторые авторы называют изобретателем катапульты.

Одним из первых типов камнемётов был онагр (по-гречески *монакон* — одноплечее), основанный на принципе пращи. Две мощные горизонтальные станины соединены поперечинами и поставлены на колёса. В середине между станинами натянут пучок упругих тетив, в пучок вставляется рычаг палиодобие закрутки. В спокойном состоянии рычага, в конце которого помещена праща, наклонён под углом 60° к горизонту. Его оттягивают с помощью ворота назад на вдвое меньший угол и удерживают в этом положении задвижкой. Тетива сильно напряжена. При выстреле задвижка вышибается, тетива с силой возвращает рычаг, праща выбрасывает камень. Дальность онагра доходила до 350 м, вес каменного ядра — до 1,5 кг. Отдачу орудия гасят фундаментом из дёрна или кирпича-сырца. Снаряд онагра вылетает, как пишет Аммиан Маркеллин, «готовый сокрушить всё, что попадётся на пути». Но прицельность его невелика. Катапюльта и бал-

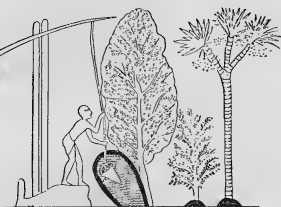


Рис. 6. Египетский шадуф.

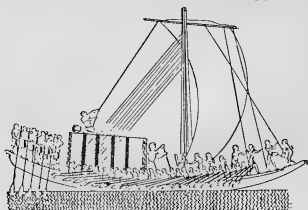


Рис. 7. Египетский корабль.

листа с двумя пучками скрученных тетив сообщали стрелам и ядрам большую прицельность с помощью направляющего жёлоба. Поражение цели достигалось при 100 шагах для отдельного человека, а для цели в виде группы людей — при 200 шагах. При осаде крепостей применялись осадные орудия — подвижные башни для штурма — геленолы, оборудованные

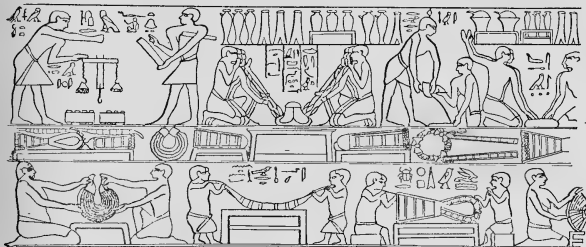


Рис. 8. Изготовление металлических изделий в Египте.

артиллерией и перекидными лестницами и мостиками. При осаде города Тира Александром Македонским в 332 г. до н. э. его инженеры Диад и Харий построили две двадцатистажные восьмиколёсные геленолы в 53 м

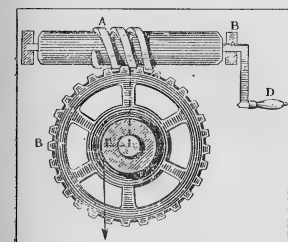


Рис. 9. Бесконечный винт.

Наряду с осадными башнями применялись стенобитные машины. Мощным типом такой машины был таран — массивная балка, снабжённая наконечником из кованого железа.

Яркое представление об античном бое с применением техники даёт рассказ Плутарха об осаде римским полководцем Марцеллом Сиракуз. В этом же рассказе вышукло рисуется инженерный гений Архимеда.

«Марцелл приближался и по суше, и морем. На суше войско шло под командою Липпия, а сам Марцелл плыл во главе шестидесяти галер с пяти рядах вёсел, снабжённых всякого рода метательными снарядами и оружием. Восемь судов, соединен-

писал. «Внутри она была разделена на многие этажи; сторона её, обращённая к противнику, имела в каждом этаже бойницы, сквозь которые метали всякого рода снаряды, ибо башни полны были вонзов, готовых ко всякому роду боя. И то, что она не шаталась и не качалась при движении, а прямо и устойчиво, сохраняя равновесие, подымалась вперёд с громким шумом и грохотом, вселяло в душу зрителей страх, смешанный с немим восхищением».

Перекидной мостик геленолы назывался самбука, по имени музыкального инструмента, имеющего такую же форму.

ных вместе, составляли род обширного помоста, на котором возвышалась стенобитная машина. Так плыл он к городу, доверяясь громадности и могуществу приготовлений и своей репутации. Всё это не смутило, однако, Архимеда. Что всё это значило в сравнении с его машинами?»

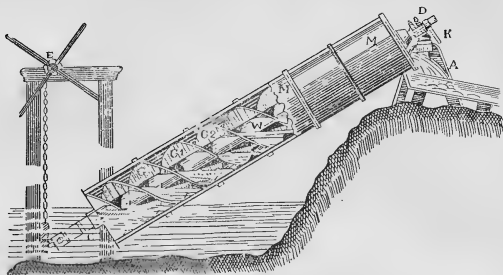


Рис. 10. Архимедов винт.

«При двойной атаке римляни сиракузцы онемели, поражённые ужасом. Что они могли противопоставить таким силам, такой могущественной рати? Архимед пустил в ход свои машины. Сухопутная армия была поражена градом метательных снарядов и громадных камней, бросаемых с великою стремительностью. Ничто не могло про-

тивостоять их удару, они всё низвергали пред собою и вносили смятение в ряды. Что касается флота — то вдруг с высоты стен брёвна опускались, вследствие своего веса и приданной скорости, на суда и топили их. То железные когти и клювы захватывали суда, подымали их на воздух носом вверх, кормою вниз, и потом погружали в воду. А то суда приводились во вращение и, кружась, попадали на подводные камни и утёсы у подножья стен. Большая часть находившихся на судах погибала под ударом. Всякую минуту видели какое-нибудь судно подвнятым в воздухе над морем. Страшное зрелище. Судно поворачивается из стороны в сторону, люди валятся, как бы пускаемые из пращи. Опустошённое судно или разбивается о стены, или погружается в море, будучи выпущено машиною.

Рис. 11. Подъёмный крап.

Марцеллы придвинул на большом помосте машину, называвшуюся самбук, по сходству с музыкальным инструментом этого имени. Когда она приближалась к стене и была ещё довольно далеко, Архимед пустил в неё камень весом в десять талантов¹, затем другой, третий. Камни, как бурею несомые, попадали в машину, ударялись в помост и разбивали его. Марцеллы, не зная, что делать, поспешил увести флот и дал приказ войску на суше отступить. Был собран совет: порешили, если будет можно, ночью подойти под самые стены. Машины Архимеда с их огромною силою будут — думали — бросать снаряды так, что они пролетят над головами осаждающих, не попадая в них. Но Архимед давно заготовил приспособления на этот случай. Он расположил и такие машины, которых действие сопряжено было с расстоянием и которые почти без перерыва выбрасывали короткие копья. В стенах сделаны были многие

¹ Талант — около 26 кг.

дыры, чрез которые действовали на близком расстоянии скорпионы, невидимые неприятелем.

Достигнув стен, римляне воображали себя в безопасности, но они были под ударами. Камни падали на них сверху, стены — отовсюду пускали в них конья. Они было удалились, но машины слали новые метательные снаряды и поражали отступающих. Много погибло, суда сталкивались между собою, и осаждаемым причинить какой-либо вред было нельзя. Большая часть машин Архимеда была за стенами.

Невидимая рука бросала тысячи зол в римлян; они боролись с богами. Сам Марцелл ускользнул от опасности.

Подсмеиваясь над своими инженерами, он говорил: «Не перестать ли нам воевать с этим геометром Бриарием¹,

который прививает корабли наши за концы для черпания воды, разбивает самбук в превосходит сторуких мифологических великанов, бросая столько копий за раз. Действительно, население Сиракуз было телом, а Архимед — душою, проводившей все машины в дви-
 жение. Все другие орудия бездействовали; только его употреблялись и для нападения, и для защиты. Под конец страх римлян сделался так велик, что как только увидят конец веревки, бревно над стенами, обращаются в бегство, крича: «ещё машина Архимеда против нас!».

Видя это, Марцелл отказался от всякого нападения и исход осады решил представить времени.

«Таков был Архимед», — заключает свой рассказ Плутарх, — так сохранил он, насколько от него зависело, непобедимым и себя, и свой город».

При взятии Сиракуз (212 г. до н. э.) Архимед был убит римскими солдатами.

Таким образом, в меру своих задач античная техника эллинистической эпохи достигла высокого уровня. Выдвинулись и выдающиеся инженеры и техники: Полиид, Диад, Харий, Дорий, Эпимах, Посидоний, Архимед и другие, прославившиеся своими изобретениями в военном деле. И тем не менее уровень развития производительных сил был ещё очень низок, потребности в машинном производстве не ощущалось.

Единственным крупным изобретением в области энергетической техники была римская водяная мельница, появлявшаяся в эпоху Витрувия, т. е. около начала нашей эры, и завершившая собой эволюцию первобытной энергетики. Водяная мельница заменила живую силу человека или животного в утомительном и трудоёмком процессе. Это был первый механический двигатель — родоначальник современных гидравлических турбин.

Однако и в эпоху рабовладельческого общества люди проявляли искусство в остроумных изобретениях, которые, хотя и не могли получать широкого применения, привлекали внимание в качестве своеобразных технических игрушек.

Одним из таких изобретений была машина — онагр, о которой упоминает Плутарх. Онагр представляла собой устройство, которое могло стрелять копьями или дротиками. Онагр был изобретен Архимедом и использовался в осаде Сиракуз.

Онагр представлял собой устройство, которое могло стрелять копьями или дротиками. Онагр был изобретен Архимедом и использовался в осаде Сиракуз.

Онагр представлял собой устройство, которое могло стрелять копьями или дротиками. Онагр был изобретен Архимедом и использовался в осаде Сиракуз.

Онагр представлял собой устройство, которое могло стрелять копьями или дротиками. Онагр был изобретен Архимедом и использовался в осаде Сиракуз.

Онагр представлял собой устройство, которое могло стрелять копьями или дротиками. Онагр был изобретен Архимедом и использовался в осаде Сиракуз.

Онагр представлял собой устройство, которое могло стрелять копьями или дротиками. Онагр был изобретен Архимедом и использовался в осаде Сиракуз.

Онагр представлял собой устройство, которое могло стрелять копьями или дротиками. Онагр был изобретен Архимедом и использовался в осаде Сиракуз.

Онагр представлял собой устройство, которое могло стрелять копьями или дротиками. Онагр был изобретен Архимедом и использовался в осаде Сиракуз.

Онагр представлял собой устройство, которое могло стрелять копьями или дротиками. Онагр был изобретен Архимедом и использовался в осаде Сиракуз.

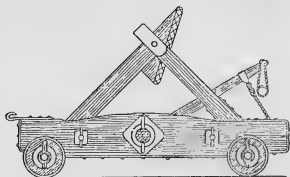


Рис. 12. Метательная машина — онагр.

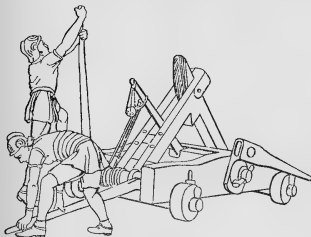


Рис. 13. Онагр на «огневой позиции».

¹ Бриарий — мифический сторукий титан.

Изобретения
Герона

Античность знала элементы автоматки, движущую силу пара. Изобретательский гений человека, проявивший свою силу с первобытных времён, не иссякал. Ярким

примером этого служит техническое творчество Герона Александрийского, жившего приблизительно за 120 лет до н. э. Учитель

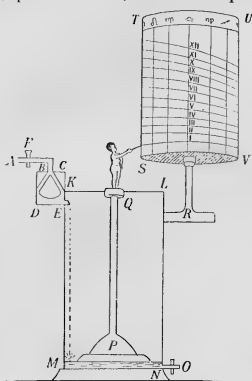


Рис. 14. Водяные часы.

Герона, Ктезибий Александрийский, которого историк античной науки и техники Дильс называет главой античных инженеров, изобрёл воздушный орган, пожарную машину, автоматические водяные часы (клепсидра). В клепсидре Ктезибия вода из водопровода A поступает в регулировочный резервуар $BCDE$ и по узкой трубке E падает в бак $KLMN$. При сильном напоре вода не успевает стекать через E , накапливается в регулировочном резервуаре и поднимает поплавок G , который запирает доступ воды. Таким образом поддерживается в регулировочном резервуаре некоторый нормальный уровень всё время, пока открыт кран F . Втекающая в бак, вода поднимает поплавок P , на котором стоит фигурка, показывающая палочкой часы, нанесенные в виде горизонтальных линий на вращающемся барабане $STUV$ (см. рис. 14).

Пожарную машину Ктезибия Герон описывает следующим образом:

«Пожарные насосы, употребляемые для тушения пожаров, делаются следующим образом (рис. 15): два металлических цилиндра высверливаются изнутри токарным резцом по величине поршня, подобно тому, как высверливают «насосы» колодезных дел мастера. KL и MN — точно пригнанные поршни. Цилиндры соединены между собой трубой $XODE$ и снабжены снаружи (внутри трубы $XODE$) открывающимися наружу клапанами P и R . В дне цилиндров имеются отверстия S и T , которые закрываются гладкими шарпирными пластинами (заслонки клапанов); сквозь них пропущены болты, которые крепко припаяны или прочно соединяются с дном цилиндра при помощи надетых на их наружных концах заклепок. Поршни снабжены закреплёнными в середине их штоками S , с ними соединяется штанга (балансир Za), которая посередине вращается вокруг болта δ ; поршневые же штоки S вращаются вокруг болтов b и v . Над отверстием, находящимся в трубке $XODE$, устанавливается другая вертикальная вилообразная трубка ξ , снабжённая краноподобной насадкой, через которую выбрасывается вода таким же образом, как нами уже говорилось выше при описании сосуда, выбрасывавшего воду при помощи сжатого в нём воздуха».

Клапан, о котором упоминается в этом описании (рис. 16), был, повидимому, также изобретён Ктезибием. Герон описывает этот прибор следующим образом: «Изготавливают две четырёхугольные пластинки соответственной толщины, длиной в палец с каждой стороны. Своими поверхностями они пригоняются друг к другу и притшлифовываются так, что между ними не может пройти ни воздух, ни вода. Пусть эти пластинки будут $ABCD$ и $EFGH$. В одной из них, именно $ABCD$, просверлено круглое отверстие в одну треть пальца шириной. Край CD соединён при помощи шарнира с краем FE , так что отшлифованные стороны металлических пластинок ложатся одна на другую. Когда хотят воспользоваться этими клапанами,

то пластинку $ABCD$ наглухо принаивают к отверстию, сквозь которое должен входить воздух или вода. В таком случае при давлении изнутри пластинка $EFGH$ открывается и пропускает воздух или воду. Но затем давление воздуха или воды будет прижимать пластинку $EFGH$ к отверстию, сквозь которое входит воздух или вода».

Как видим, техника, в частности техника обработки металлов, достигала в это время довольно высокого уровня. Ниже мы увидим, что Герон даже осуществлял тепловой двигатель. Но эта техника, как уже неоднократно указывалось, не могла произвести промышленного переворота, не могла играть той революционной роли, какую она сыграла в период первоначального накопления, в период буржуазных революций.

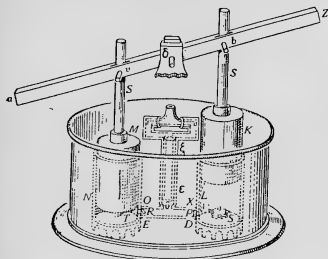


Рис. 15. Пожарный насос.

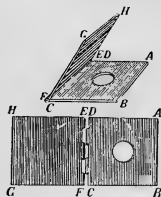


Рис. 16. Клапан Герона.

Знаменитые изобретения Герона описаны в дошедшем до нас трактате «Пневматика». По своим теоретическим позициям Герон примыкает к Аристотелю, однако с существенными поправками. Он так же, как и Аристотель, считает, что пустоты в природе нет, но «хотя в природе и нет большого пустого пространства, тем не менее совсем маленькие пустые пространства существуют в жидкостях, огне и других телах».

Доказательством существования пустых промежутков между частицами Герон считает упругость, смешивание различных жидкостей, расширяемость тел от нагревания и т. д. Воздух Герон считает телом, состоящим из весьма лёгких и подвижных частиц. Доказательством того, что воздух тело, Герон считает, например, факт, что опрокинутый вверх дном сосуд при погружении его в другой сосуд с водой не заполняется водой. Если же в дне сосуда проделать отверстие, через которое воздух может выходить, то вода заполнит внутренность погружаемого сосуда, вытесняя воздух через это отверстие. Аномально больших промежутков между частицами тела природа не допускает и, в этом смысле, «боится пустоты». Так, например, если из сосуда отсосать некоторое количество воздуха, благодаря чему расстояние между частицами оставшегося воздуха увеличивается, то сосуд будет обладать всасывающими свойствами (кровесосные банки): кожа пальца, закрывающего отверстие сосуда, будет втягиваться внутрь. Если палец отнять, то в сосуд входит наружный воздух, заполняя объём его до тех пор, пока расстояния между частицами не достигнут нормальной величины. В этом следует искать причины прочности тел. Жидкая

струя, по Герону, также обладает прочностью на разрыв¹. Раз возникнувший столб жидкости не может разорваться ибо это привело бы к образованию значительной пустоты. На этом строится объяснение Героном действия сифона.

Погрузим коленчатую трубку *АНДВСКЛ* (рис. 17) в сосуд, заполненный водой до уровня *FG*. Вода в колене достигнет уровня *H*, совпадающего с уровнем *FG*. Если же отсосать у *L* воздух ртом, то, в силу указанного свойства не допускать значительных пустот, воздух будет всасывать из сосуда воду по колену *АНД*. При достаточном разрежении вода заполнит верхнюю часть трубки *B* и начнёт стекать вниз по колену *СКЛ*. Стремясь упасть, как груз в обоих коленях, она не может упасть, ибо это привело бы к разрыву струи. Если уровень жидкости в левом колене ниже, чем в правом, то левый груз воды перетянет правый и вода будет перетекать от более высокого уровня к более низкому до тех пор, пока уровни жидкости слева и справа не сравняются, или до тех пор, пока не опорожнится сосуд (если уровень дна его достаточно высок).

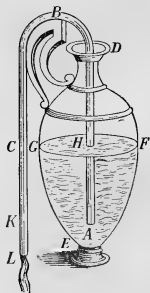


Рис. 17. Сифон Герона.

Итак, в теории Герона мы имеем дело с двумя основными допущениями: а) невозможность разрыва струи, б) перевешивание струи более длинной частью, что приводит к перетеканию жидкости от более высокого уровня к более низкому. Раз образовавшаяся жидкая струя ведёт себя наподобие верёвки, перекинутой через блок. Верёвка будет «сбегать» в сторону более длинной части. Давление наружного воздуха в этом объяснении роли не играет.



Рис. 18. Двойной сифон Герона.

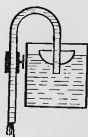


Рис. 19. Сифон Герона с постоянной скоростью вытекания жидкости.

Герон, однако, видит недостаточность своего объяснения действия сифона. А именно, если представить себе, что левый конец цепочки короче, однако состоит из нескольких цепочек, то можно не только добиться равновесия, но и сбегания цепочки в сторону короткой части. Другими словами, если изготовить сифонную трубку из колен неодинаковой толщины, сделав короткое колено более толстым, можно добиться переливания жидкости от более низкого уровня к более высокому. Герон указывает, что это невозможно. Заполним U-образную трубку жидкостью до самого верха. Закроем концы трубки и опрокинем её в два сосуда

¹ Галилей в своём учении о сопротивлении материалов реставрировал воззрения Герона.

с неодинаковыми уровнями жидкостей так, чтобы толстое колено трубки было бы погружено в сосуд с высшим уровнем жидкости. Отняв пальцы от концов трубки, установим сообщение между массами жидкости в обоих сосудах (столб жидкости в сифонной трубке разорваться не может). Но, по Архимеду, сообщающиеся массы жидкости будут находиться в равновесии тогда и только тогда, когда свободная поверхность будет сферической поверхностью с центром в центре Земли. Следовательно, жидкость будет перетекать с высшего уровня на низший, пока уровни не сравняются. Мы видим, что Герон, отправляясь от Архимеда, по существу, формулирует уже принцип сообщающихся сосудов. Своеобразное Героново понимание «боязни пустоты» даёт ему возможность объяснить действие пиетки, которая у него имеет форму «магического шара». Если, оставив верхнее отверстие открытым, погрузить шар в жидкость, то жидкость войдёт через отверстие в дне шара внутрь его. Если теперь закрыть отверстие пальцем и вынуть шар, то вода не выльется через решётчатое дно шара, ибо это привело бы к образованию пустот во внутреннем воздушном пространстве. Отнятием пальца можно вылить жидкость в любом месте.

Герон придумал сифоны разнообразной формы. Упомянем здесь о двойном сифоне и о сифоне с постоянной скоростью вытекания (сифон с поплавком). Двойной сифон (рис. 18) представляет собой трубку, закрытую сверху, но открытую внизу. Внутри этой трубки помещается вторая, открытая с обоих концов, — верхний конец несколько не доходит до дна наружной трубки. Если в сосуде имеется отверстие в дне такого размера, что в него входит, плотно прилегая к краям, внутренняя трубка сифона, то в сосуд можно наливать жидкость до тех пор, пока её уровень не будет таков, что наружная трубка сифона не заполнится до самого дна. Тогда, по принципу сифона, жидкость будет вытекать по внутренней трубке до тех пор, пока сосуд не опорожнится. Двойной сифон объясняет действие «волшебного кубка» Герона. В сифоне с постоянной скоростью истечения (рис. 19), внутреннее колено закреплено в чаше, плавающей на поверхности жидкости в сосуде. По мере понижения уровня жидкости опускается и сифон, так что выходное отверстие остаётся ниже уровня жидкости всегда на одну и ту же величину.

В качестве примера, иллюстрирующего изобретательность Герона, опишем его автомат «поющая птичка» (рис. 20). Птичка свистит, когда сова на неё не смотрит, и умолкает, когда сова к ней повернётся. Действие этого прибора основано на соответствующем подборе двойных сифонов. Когда жидкость по воронке втекает в верхний сосуд, то она вытесняет воздух, который, проходя по трубочке, вызывает свист. По мере повышения уровня жидкости в резервуаре начинается её вытекание через сифон в нижний ковш. Это вызовет в конце концов перегрузку ковша, который перетянет противовес, и сова повернётся. Сифон подбирается так, что в этот момент вытекание из резервуара превышает скорость поступления жидкости — птичка не поёт. Затем вступает в действие нижний сифон. По-

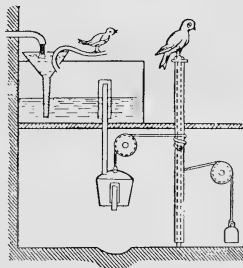


Рис. 20. Поющая птичка и сова.

мере опорожнения резервуара опорожняется и ковш — сова отвержётся. Работа автомата начинается снова.

Особенно замечательно, что Герон впервые использовал движущую силу тепла. Ознакомимся прежде всего с действием его «эолипил». Эолипил Герона представляет собой железный шар, могущий вращаться вокруг горизонтальной оси (рис. 21). В верхней части шара имеется выводная трубка, согнутая под прямым углом; такая же трубка, но изогнутая в противоположную сторону, имеется внизу шара. Пар, поступающий из резервуара по боковым трубкам, выбрасывается выпускными трубками. Реакция паровой струи (принцип турбины) приводит шар во вращение.

Так почти за две тысячи лет до изобретения паровой машины был впервые сконструирован тепловой двигатель. Но это было преждевре-

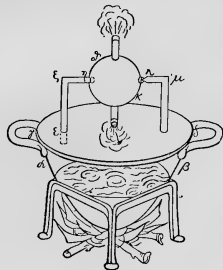


Рис. 21. Эолипил Герона.

менное изобретение, и с XVII века начинаются новые поиски тепловой машины.

Приведём в качестве примера применения движущей силы тепла — алтарь с автоматически открывающимися дверями при возжигании жертвенного огня (рис. 22).

В храме находится полный жертвенник DE , который соединён при помощи трубки FG шарообразным сосудом PH , наполовину наполненным водой. В шар вливается U -образная трубка KLM . Оси вращения обеих створок дверей продолжены до пола подвала, где они вставлены в соответствующие гнезда. На осях навиты две цепочки. На конце одной цепочки помещается груз, который своей тяжестью стремится закрыть дверь, а на другой, навитой в обратном направлении на дверных осях, висит сосуд XN , который, будучи пустым, легче груза. В этот сосуд проходит одно из колен U -образной трубки, которая так установлена, что когда двери закрыты, это колено доходит почти до дна сосуда.

Когда на алтаре зажигают огонь, алтарь нагревается, заключённый в нём воздух расширяется, давит на воду, находящуюся в шаре, и поднимает её по U -образной трубке в подвешенный сосуд, который благодаря этому опускается и таким образом открывает дверь.

Рассмотренными примерами мы и ограничимся. Из сказанного ясно, насколько остроумны были изобретения Герона. Практическое значение получили только его гидравлические машины, усовершенствовавшие технику водочерпальных машин. Остальные изобретения выполняли

роль забавных игрушек, не больше. Только возрождающаяся новая наука обратилась к изобретениям Герона, развив их дальше на новой основе.

Но и эта наука, сохранив описание эолипила в учебниках физики, не начала строить паровую машину по принципу Герона, а осуществила менее совершенную идею пароатмосферного насоса. Изобретения Герона были ярким свидетельством того, что античная наука от рассмотрения общих проблем перешла к конкретным. Из единой науки стали выделяться астрономия, математика, механика, география, медицина. Центром новой науки стал основанный Александром Македонским город в дельте Нила — Александрия. Здесь возникло своеобразное научное учреждение — Александрийский музей с богатой библиотекой, с астрономической обсерваторией. Все крупные учёные и философы древнего мира в той или иной степени связаны с Александрией. Поэтому период выделения наук часто называется александрийским периодом.

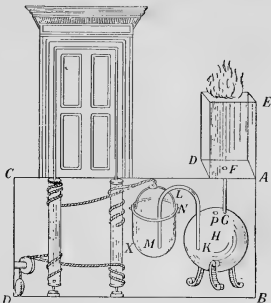


Рис. 22. Автомат Герона.

Астрономия

Из единой науки древней Греции прежде всего выделились астрономия, математика и механика. Это соответствовало тому естественному ходу накопления научных

знаний, обусловленному потребностями производства, о котором Энгельс писал: «Сперва *астрономия*, которая уже из-за времен года абсолютно необходима для пастушеских и земледельческих народов. Астрономия может развиваться только при помощи *математики*. Следовательно, приходилось заниматься и последней. Далее, на известной ступени развития земледелия и в известных странах (поднимание воды для орошения в Египте), а в особенности вместе с возникновением городов, крупных построек и развитием ремесла развилась и *механика*. Вскоре она становится необходимой также для *судостроительства* военного дела. Она тоже нуждается в помощи математики и таким образом способствует ее развитию. Итак, уже с самого начала возникновение и развитие наук обусловлено производством»¹.

Как мы уже говорили, астрономические наблюдения в Китае и Индии велись с древнейших времён. От халдеев и египтян зачатки астрономии перешли к грекам. Греки выдвинули задачу построения системы мира. Так как наблюдения производились с Земли, то наиболее естественной системой мира являлась геоцентрическая, приспособленная к точке зрения земного наблюдателя. Аристотель дал натурфилософское обоснование такой системы. Другой ученик Платона, Эвдокс Книдский (408—355), впервые поставил задачу найти кинематику планет, исходя из гипотезы, что в основе должно лежать идеальное сферическое движение. Но видимое движение планет не круговое и не равномерное; более того, планеты (Марс) описывают при видимом движении петли. Платон предложил своим ученикам разрешить это противоречие между идеалом и действительностью. Эвдокс следующим образом справляется с этой задачей. В центре вселенной он

¹ Ф. Энгельс, *Диалектика природы*, 1952, стр. 145.

полагает шарообразную Землю. (Повидимому, Эвдоксу также принадлежит определение длины окружности Земли в 400 000 стадий, приводимое Аристотелем. Хотя это значение примерно в $1\frac{1}{2}$ раза больше действительного, оно вряд ли было дано случайно.) Представим сферу, вращающуюся вокруг Земли как центра, полюса этой сферы прикреплены в свою очередь к другой шаровой поверхности, обращающейся с другой скоростью и в другом направлении, и, наконец, эта последняя сфера прикреплена к третьей, к которой прикреплено светило. Надлежащим подбором скоростей и направлений движения этих трёх сфер Эвдоксу удалось добиться довольно удовлетворительного согласия с видимым движением Солнца и Луны. Для того чтобы объяснить более сложные движения планет, Эвдокс, кроме указанных трёх сфер, вводит ещё четвертую сферу. Таким образом, для кинематического описания неба Эвдокс вводит, кроме сферы неподвижных звёзд, ещё 26 сфер.

Аристотель принял схему Эвдокса и развил её далее, введя 56 сфер для объяснения видимого движения небесных светил. Однако тем самым система была настолько усложнена, что её в дальнейшем пришлось оставить. Именно математик Аполлоний Пергейский (200 г. до н. э.) предложил теорию эпициклов. Планета движется по круговой орбите, центр которой в свою очередь описывает круг вокруг Земли (вообще говоря, с центром не в центре Земли). Эту систему эпициклов особенно развил знаменитый астроном Гишпарх (160—125). Гишпарху астрономия обязана многим. Он первый составил тончайший каталог неподвижных звёзд содержащий 1022 звезды; определил чрезвычайно точно продолжительность года (365 дн. 5 ч. 55 м., на 6 мин. больше действительного). Ему удалось сделать замечательное открытие предвращения равноденствия, заключающееся в том, что точка пересечения небесного экватора с эклиптикой не остаётся неподвижной, а смещается к юго-западу. Таким образом, Гишпарх открыл прецессию полярной оси. Гишпарх повторил определение расстояния Земли от Луны. Наконец, Гишпарх впервые стал определять географические координаты (широту и долготу) с помощью астрономических наблюдений и стал чертить географические карты методом стереографической проекции. Эти достижения Гишпарха ярко рисуют высокий уровень астрономической науки, достигнутый древними.

Гишпарх открыл, что расстояние Луны от Земли не остаётся постоянным и что Луна движется неравномерно вокруг Земли: она движется быстрее на близких расстояниях к Земле и медленнее на далёких. Отсюда он сделал вывод, что Луна движется по кругу, однако Земля не совпадает с центром этого круга.

Такую же эксцентricность он приписал и солнечной орбите.

Однако одна эксцентricность не могла спасти положения, и Птоломей (70—147) развил до конца систему эпициклов, ведущую своё происхождение от Аполлония и Гишпарха. Система мира Птолемея, сыгравшая столь исключительную роль в истории мировоззрений, изложена в его сочинении «Великое построение», известное под арабским названием «Альмагест». В центре вселенной — Земля (рис. 5), окружённая по схеме Аристотеля последовательно водой, воздухом и огнём. Вокруг Земли обращаются в последовательном порядке: Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн, затем сфера неподвижных звёзд, окружённая жилищем блаженных, где помещён «первый двигатель».

Центры подвижных светил движутся по кругам, эксцентricным по отношению к Земле. Для объяснения движения некоторых планет приходилось вводить 3-й и даже более высокого порядка эпициклы. Таким образом, эта система оказалась чрезвычайно громоздкой, и по мере накоп-

Наблюдатель, в пункте a земного шара наблюдает восход Луны и определяет угол u (рис. 24) между направлениями на некоторую неподвижную звезду s и Луну m . Через 12 час. вследствие вращения Земли наблюдатель находится в b и определяет угол v между тем же направлением на звезду и на заходящую Луну.

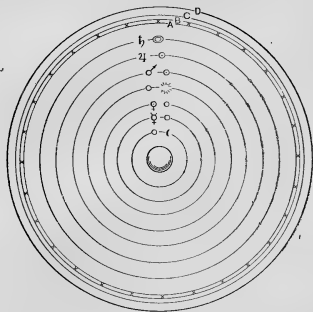


Рис. 23. Система мира по Птолемею.

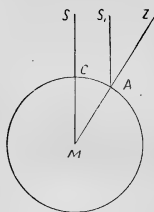


Рис. 24. Определение радиуса Земли (по Эратосфену).

невозможности без телескопа определить точно момент наступления квадратуры.

Мы видим, что гипотеза Аристарха была гипотезой не дилланта, а крупного специалиста в своей области. Однако она не встретила признания. Наоборот, против Аристарха было выдвинуто обвинение в безбожии (Клеант) на том основании, что Аристарх-де своими домыслами нарушает покой богини Земли. Но дело было не только в обвинении в безбожии, которого философы древности не очень-то боялись, а ещё и в том, что гелиоцентрическая система опережала уровень астрономических и механических знаний того времени; условия для её принятия ещё не созрели. После Коперника, как увидим в своём месте, пошла долгая и большая борьба и большая работа таких выдающихся деятелей, как Галилей и

Кеплер, чтобы система в конце концов была принята учёными.

Обратимся теперь к механике.

Механика

В сочинении «Механические проблемы»¹, принадлежащем одному из учеников Аристотеля и написанном в III в. до н. э., мы находим даже определение механики

(греческое слово «механе» означает хитрость). Указав, что своим искусством человек может побеждать природу, идти «против природы», псевдо-Аристотель говорит: «Во многих вещах природа действует вопреки потребностям наших; она имеет свой образ действий, не подлежащий изменчи-

¹ Это сочинение долго приписывалось самому Аристотелю, поэтому автора его сейчас называют «псевдо-Аристотелем».

ности условий, а нужды наши меняются весьма разнообразно. Потому при совершении чего-либо вопреки природе возникают затруднительные вопросы — апории, требующие искусного с ними обращения.

К таким апориям псевдо-Аристотель относит и проблему рычага: «Не представляется ли непонятным, как большой груз может быть подвинут малою силой?» — спрашивает он. Псевдо-Аристотель объясняет загадочные свойства рычага чудесными свойствами круга: «Он образуется через нечто покоящееся и нечто движущееся» (видимо, автор имеет в виду способ черчения круга). Окружность круга одновременно выпукла и вогнута. Каждая точка круга — начало и конец. Продвижение по кругу есть продвижение вперед и одновременно назад. Но пути, описываемые концами

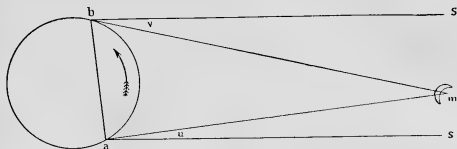


Рис. 25. Определение расстояния до Луны (по Аристарху).

рычага, — круговые, отсюда и происходят чудесные его свойства. Далее обращается внимание на то, что круги, проходимые различными концами рычага, неодинаковы, и в этом усматривается разгадка рычага: «Большим плечом рычага можно поднять большой груз, потому что большое плечо производит большее движение». «Сила, приложенная на большем расстоянии от точки опоры, легче двигает груз, так как она описывает больший круг».

Размышление над свойствами круга подводит автора к вопросу о различии кругового движения на два. «При всяком круговом движении, — говорит псевдо-Аристотель, — путь радиуса криволинейный и, следовательно, происходит два движения: одно в сторону — движение согласно природе, другое к центру — против природы. При малом радиусе движение против природы сильнее (чем при большом), точка сильнее гонится, так как ближе к тянущему центру».

Далее в «Механических проблемах» дискутируется вопрос, который вызывал также большие споры в XVII и XVIII вв., вопрос о различии действия давления и удара. «Почему, если приложить к дереву топор и на топор положить тяжелый груз, дерево будет повреждено очень мало, тогда как, если поднять топор и без груза ударить по дереву, дерево расколется, хотя падающий вес будет много слабее давящего?» Однако удовлетворительного ответа на вопрос псевдо-Аристотель, конечно, дать не может — вопрос требует глубокого изучения превращения движений. Отметим, однако, что уже в сочинении «О небе» Аристотель дал в качестве меры силы mv .

Подход к задаче рычага и у самого Аристотеля и его последователей был динамическим. Но как раз для динамики еще не было достаточно материала. Аристотель принимал два рода движений в природе: естественные и насильственные. Естественные движения — это вертикальные падения тел, происходящие в силу начала тяжести, и вертикальные подъемы абсолютно легких тел. Все прочие движения — насильственные.

Без действия сил тело покоится — такова формулировка первой половины закона инерции, данная Аристотелем. Но стрела, выпущенная из лука, продолжает лететь дальше, хотя действие лука уже кончилось. Обобщить закон инерции на случай движения Аристотель не может. Он спрашивает: «Почему тело продолжает двигаться после того, как движущая причина не следует с ним и издали не действует? Не очевидно ли, что первый толчок действует на другое тело, это опять на другое, а когда передача не может иметь места, должен наступить покой». «Почему брошенное тело приходит, наконец, в покой? Не потому ли, что сила слабеет и,



Рис. 26. Определение расстояния до Солнца (по Аристотелю).

наконец, прекращается, или от противодействия, или вследствие тяжести, когда тяжесть побеждает силу или вообще самый вопрос, не обращающий внимания на главную причину, не подходящий?

Не будем осуждать Аристотеля за его блуждания в законе инерции. Скажем здесь наперёд, что установление закона потребовало напряжённой работы таких деятелей, как Леонардо да Винчи, Бендетти, Галилея и, наконец,

Декарта. Только в общей теории относительности была предпринята попытка объяснить, почему тело, предоставленное самому себе, «стремится» сохранить свою скорость по величине и направлению.

Изучая естественные движения, Аристотель — этот не только гениальный мыслитель, но и гениальный наблюдатель — заметил, что скорость падающих тел возрастает по мере приближения к земле. Многие авторы упрекают Аристотеля за то, что он не постарался уточнить наблюдение и не исследовал, как именно возрастает. Но даже имея в своем распоряжении метроном и машину Атвуда, обладая уже известным законом падения, современный студент с трудом проверяет закон. Следовательно, упрёк Аристотелю по меньшей мере несправедлив. Более правильным является упрёк другому наблюдению Аристотеля: различные тела падают с различными скоростями. Аристотель поспешил сделать вывод, что скорость тел пропорциональна их весу. Между тем этот вывод нетрудно опровергнуть не только простым экспериментом, но и логическим рассуждением. Ведь два кирпича, положенные друг на друга, должны, по Аристотелю, падать и с одной и с двойной скоростью. Приходится удивляться инерции человеческой мысли: наука дожидалась Галилея, чтобы опровергнуть многовековое заблуждение.

Неудачи древних в области изучения механического движения вполне понятны: не было ещё технических и научных предпосылок для создания кинематики и динамики. Галплей начал создавать науку «о местном движении», как тогда выражались. Древние же, как было сказано, под механикой понимали науку о простых машинах, действующих по принципам статики. Эта наука получила своё высшее развитие в трудах величайшего учёного древнего мира — Архимеда, имя которого вошло в историю физики навеки.

Архимед

Архимед родился в 287 г. до н. э. в Сицилии, в городе Сиракузах.

Он был сыном астронома Фидия и родственником Гиерона, ставшего потом тираном Сиракуз. Вероятно, отец дал ему достаточное математическое образование: Архимед хорошо знал вышедшие незадолго до его рождения «Начала» Евклида. Дальнейшее образование

и научное развитие Архимед получил в Александрии. Здесь он занимается астрономией, математикой и механикой. Но уже в александрийский период отчётливо выявились научные интересы Архимеда, а именно — проблемы механики. Даже в своих астрономических занятиях Архимед прославился изобретением механических аппаратов. Таков был прибор для измерения видимого диаметра Солнца и знаменитая «сфера», т. е. планетарий, повидимому, приводившийся в движение водяным двигателем. Здесь же был изобретён им водоподъёмник и здесь же он, вероятно, пришёл к своим знаменитым исследованиям о центрах тяжести и рычагах, в тесной связи с которыми находились и его математические работы.

По возвращении из Александрии вся остальная деятельность Архимеда протекала в родном городе, вплоть до самой гибели, совпавшей с падением Сиракуз. Самоотверженная работа Архимеда при защите города была предметом особого удивления древних. Выше мы приводили рассказ Плутарха об этой осаде.

Конечно, в рассказе Плутарха содержится много преувеличений. Но несомненно одно, в этом рассказе отразилось преклонение римлян перед блестящим инженерным искусством Архимеда. Древние ещё более благоговели перед высоким математическим дарованием Архимеда. Тот же Плутарх отмечает:



Архимед.

«В геометрии нет иных таких предложений, которые в такой мере, как архимедовы, соединяли бы великие трудности с простотою и ясностью решений».

«Поэтому нет оснований не верить писанному об Архимеде, что он жил как бы околдованный какою-то домашнею сиреною, постоянною его спутницей, заставлявшей его забывать пищу, шитьё, всякие заботы о своём теле. Иногда, приведённый в башню, он чертил пальцем на золе очага геометрические фигуры или проводил линии на умащённом маслом своём теле, подчиняясь страстно владычеству муз. Автор прекрасных открытий, он просил своих родственников поставить на его могиле цилиндр, заключающий в себя шар, и подписать отношение их объёмов».

Действительно, математический гений Архимеда проявился особенно отчётливо в том, что он взялся за решение труднейших проблем своего времени: вычисление площадей криволинейных фигур, вычисление поверхностей и объёмов цилиндра и шара. Эти проблемы приводят его (в сочинении «Эфодикон», открытом в 1906 г.) к установлению основных понятий интегрирования. Архимед был первым из древних, установившим пределы для π (он нашёл, что π заключено между $3\frac{1}{7}$ и $3\frac{10}{11}$). Свой математический гений Архимед проявил и в решении механических задач. Его основные достижения: закон рычага и закон Архимеда получены геометрическим методом. Мы можем с полным правом назвать Архимеда родоначальником математической физики. Рассмотрим здесь результаты Архимеда в области статики. Статика Архимеда изложена в трактатах: «О равновесии плоскостей» и «О плавающих телах». Закон рычага содержится в первом трактате. Центральной идеей трактата является понятие центра тяжести. Эмпирические сведения о равновесии тяжёлого тела были известны давно. Ещё египтяне употребляли отвес. Но только у Архимеда мы находим отчётливое представление о такой точке внутри тела, отно-

сительно которой уравниваются веса всех остальных точек его, так что тело, опёртое в этой точке, будет в равновесии. Первоначальные эмпирические сведения облачаются у Архимеда в форму аксиом-постулатов. Вот основные из этих аксиом:

1. Равные веса, действуя на равных расстояниях от точки опоры невесомого стержня, уравниваются (рис. 27A).

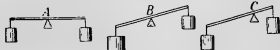


Рис. 27.

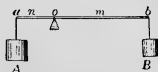


Рис. 28.

2. При неравных весах, действующих на равных расстояниях от точки опоры невесомого стержня, перевешивает больший (рис. 27B).

3. Из равных весов, действующих на неравных расстояниях, перевешивает отдалённый (рис. 27C).

4. Действие одного груза может быть заменено действием нескольких равномерно распределённых так, что центр тяжести сохраняет неизмен-

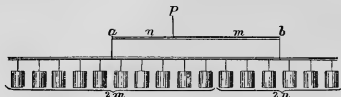


Рис. 29.

ное положение. Обратно, несколько равномерно распределённых грузов можно заменить одним, подвешенным в их центре тяжести.

5. У неравных и подобных фигур центры тяжести расположены подобным образом.

Исходя из этих постулатов, Архимед доказывает закон рычага следующим образом. Пусть грузы A и B (рис. 22) соизмеримы между собой и относятся, как целые числа:

$$\frac{A}{B} = \frac{m}{n}.$$

Пусть, например, $m = 5$, $n = 3$. Делим груз A на $2m = 10$ равных частей, груз B на $2n = 6$ равных частей и распределим их равномерно вдоль невесомого стержня длиной $2(m + n)$ единиц с точкой опоры P посередине (рис. 22). По постулату 1 грузы будут в равновесии. Равновесие не нарушится, если $2m$ грузов соединить в один A , приложенный в их центре тяжести a . Но a отстоит от P на расстоянии $Pa = n$ единиц, а b отстоит от P на расстоянии $Pb = m$ единиц. Таким образом, уравновешенные грузы A и B удовлетворяют условию:

$$\frac{A}{B} = \frac{Pb}{Pa}.$$

Это и есть закон рычага. Архимед в дальнейшем распространяет его и на случай несоизмеримых грузов. Его доказательство неоднократно подвергалось дискуссии и дальнейшим расширениям.

Обратимся теперь к другому результату Архимеда, к его знаменитому закону. Хорошо известен рассказ Витрувия об обстоятельствах открытия этого закона.

Восклицание Архимеда, открывшего закон в ванне: «Эврика!» (нашёл), стало ходячим выражением. Витрувий рассказывает, что Архимед опытным проверил своё открытие. Конечно, не подлежит сомнению, что опыт натолкнул Архимеда на идею, и опыт дал ему возможность её проверить. Более того, Архимед несомненно умел на опыте определять удельные веса; упоминают даже о поплавке, с помощью которого сравнивают удельные веса жидкостей (ареометр). Но, верный своему методу, Архимед стремится доказать закон математически, исходя из некоторых постулатов. В основу Архимед кладёт следующую гипотезу о природе жидкости:

«Предполагается, что жидкость по природе своей такова, что при равномерном и непрерывном расположении её частиц менее сдавленная частица вытесняется более сдавленной, и что отдельные частицы этой жидкости испытывают давление отвесно расположенной над ними жидкости, поскольку эта жидкость не замкнута в чём-либо или не испытывает давления со стороны какого-либо другого предмета»¹.

Исходя из этой гипотезы, Архимед показывает, что поверхность покоящейся жидкости должна быть сферой, центр которой совпадает с центром Земли. В самом деле, если бы этого не было, то не могло быть бы равновесия: одни части жидкости были бы сдавлены больше, чем другие, что согласно постулату привело бы к перемещению менее сдавленных частиц.

Эта теорема у Архимеда играет основную роль. Отсюда он доказывает прежде всего, что тела одинакового удельного веса с жидкостью («имеющие при равном объёме и равный с жидкостью вес») погружаются в жидкость настолько, что совершенно не выступают над её поверхностью, но и не опускаются в ней сколько-нибудь глубже. Рассмотрим половину «гидросферы» (так для краткости будем называть массу жидкости, заполняющую объём земного шара), ограниченную поверхностью $ALMD$ (рис. 30), и выделим в ней две конические равные части KML и KMP . Из этих конических частей выделим области, ограниченные поверхностями: внешними MQ и MN и внутренними XO и OP . Пусть тело $EZTH$ не погружается сполна в жидкость, а часть $EBGZ$ выступает над поверхностью. Рассмотрим в смежной области часть $RYGS$, равную погружённой части тела $BGTH$. Очевидно, что части жидкости, лежащие на дуге XO , будут более сдавлены, чем части, лежащие на дуге OP . Равновесия, согласно основному постулату, не будет. Поэтому тело погрузится как раз настолько, что его поверхность совпадет с поверхностью гидросферы.

С помощью той же гидросферы Архимед доказывает, что тело меньшего удельного веса, чем вода, всплывает так, что некоторая часть будет выступать над поверхностью жидкости. В самом деле, если тело Z (рис. 31) погружено в области гидросферы $ABXQ$, то, выделив в смежной области части жидкости H , соответствующую Z , находим, что части жидкости, лежащие на дуге QX , будут меньше сдавлены, чем части на дуге QP , что приведет к нарушению равновесия. Равновесие восстанавливается тогда,

¹ Цитаты взяты из книги «Начала гидростатики», Архимед, Стевин, Галилей, Паскаль, Гостехиздат, 1938.

когда тело всплывёт настолько, что недостаток в весе в погружённой части тела будет компенсирован весом выступающей части, так что вес жидкости в объёме погружённой части равен весу всего тела.

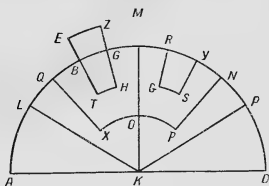


Рис. 30.

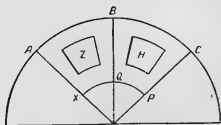


Рис. 31.

Далее, Архимед в следующих двух предложениях утверждает свой закон:

Предложение VI. Твёрдые тела, которые легче жидкости, будучи погружены в жидкость, стремятся кверху с силой, равной превышению веса жидкости, взятой в объёме этих тел, над весом самих тел.

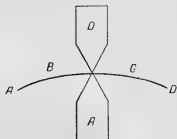


Рис. 32.

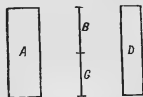


Рис. 33.

Предложение VII. Тела, которые тяжелее жидкости, будучи опущены в жидкость, погружаются всё глубже, пока не достигают дна, и, пребывая в жидкости, теряют в своем весе столько, сколько весит жидкость, взятая в объёме тел.

Предложение VI доказывается так. Пусть B — вес тела A (рис. 32), $B + G$ — вес жидкости в объёме, равном объёму тела A . Присоединим к A тело D , вес которого равен G . Сумма этих тел будет легче жидкости, взятой в объёме $A + D$. Поэтому, по предыдущему, тело $A + D$ будет всплывать до тех пор, пока вес поступающей части не компенсирует недостаток в весе погружённой части. Очевидно, равновесие наступит тогда, когда погружённой частью будет A , а выступающей D . А это и доказывает предложение.

Предложение VII доказывается на основе предыдущего. Пусть вес тела A равен $B + G$ (рис. 27,) а вес жидкости в объёме A равен B . Пусть D — тело легче жидкости и пусть вес его B , а вес жидкости в объёме D равен $B + G$. Соединим тела A и D вместе. Тогда комбинация обоих тел останется в жидкости в равновесии, не погружаясь и не поднимаясь. В самом деле, объём тел равен $A + D$, а вес их $(B + G) + B$. Но таков же вес

жидкости в объёме $A + D$. Но тело D , по предыдущему, стремится вверх с силой, равной G . Таким образом, потеря веса тела A в жидкости равна B (тело падает вниз с той силой G , с какой его тянет вверх D). Но B это и есть вес жидкости в объёме тела.

Таковы доказательства Архимеда. Они просты и глубоки. В лице Архимеда мегодика древних достигла кульминационного пункта. К его результатам последующие авторы не прибавили нового, а в средние века они были утрачены, и архимедово учение о плавании тел было заменено учением схоластов о том, что плавание тел обусловлено их формой. Как увидим в своём месте, Галилею пришлось восстанавливать в правах Архимеда в спорах со схоластами.

Следует отметить эволюцию во взглядах на механику и изобретение в конце александрийской эпохи, обусловленную прогрессом техники и процессом разложения рабовладельческого общества. Математик Папи Александрийский, живший в конце III в. или начале IV в. н. э., писал: «Благодаря тому, что механическая наука применяется в жизни в очень серьёзных вещах, она очень высоко ценится философами, а математики записываются ей с особенным усердием, потому что она раньше всего знакомит нас с учением о природе, материи и элементах мира».

При этом Папи различает теоретическую или рациональную механику, которая заключает в себе «геометрию, арифметику, астрономию и физические демонстрации», и практическую, которая «должна обучать искусству бронзовщика, рабочего по железу, строительному и столярному искусству, а также живописи и всему тому, что касается ручного труда». Папи говорит, что «последователи Герона» указывают, что изучивший хорошо теорию и овладевший ремеслом «будет впоследствии лучшим изобретателем (и конструктором) в области механики». Таким образом, жизнь помала рабовладельческие предрассудки, требовала всё более конкретных знаний, и математика с философских высот Платона входила в мастерскую астронома и мастерскую конструктора. Жизнь взорвала и самый рабовладельческий строй.

Оптика.

Обратимся теперь к рассмотрению знаний древних в области собственно физики. Остановимся прежде всего на оптике. В первую очередь сложилась геометрия — евклидова (300 г. до н. э.), обобщившего эмпирические данные предшественников. Оптика Евклида изложена в двух трактатах: «Оптика» и «Катоптрика». Следуя Платону, Евклид разделяет теорию зрительных лучей. Эти лучи — прямые линии. Видимость предмета обусловлена тем, что из глаза, как из вершины, идёт конус лучей, образующие которого направлены касательно к границе предмета. Величина предмета, по Евклиду, определяется углом зрения. В «Оптике» он решает вопрос о зависимости видимой величины предмета от расстояния и положения его.

Таким образом, в «Оптике» впервые формулируется основной закон геометрической оптики: закон прямолинейного распространения света. В «Катоптрике» изучается отражение света. И здесь Евклиду принадлежит весьма важный результат: открытие закона отражения. Этот закон применим как к плоским, так и сферическим зеркалам. Фокусирующее действие вогнутых зеркал Евклиду известно, но определить положение фокуса он не может и высказывает следующее предположение: фокус вогнутого зеркала лежит либо в центре сферы, либо между этим центром и зеркалом. Зато Евклиду известно, что вогнутые зеркала могут дать как сходящийся, так и расходящийся пучок, а выпуклые — только расходящийся. Ко времени Евклида собирающее действие вогнутых зеркал

было хорошо известно, и легенда даже приписывает Архимеду сожжение римского флота с помощью вогнутого зеркала. Ещё раньше было известно замечательное действие линз, точнее — стеклянных шаров. Так, драматург Аристофан, современник Сократа, советует должнику растонить долговое обязательство, написанное на восковой дощечке, с помощью зажигательного стекла. Прямое же упоминание о преломлении света мы находим у Аристотеля, который ставит вопрос, почему палка в воде кажется надломленной. В «Катоптрике» Евклида встречается описание опыта с кольцом. На дно кубка положено кольцо, глаз помещается так, что кольцо скрыто за краями кубка. Если, не меняя положения глаз, подливать в кубок воды, то кольцо становится видимым. Однако, возможно, что этот опыт,

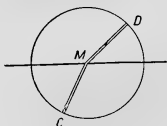


Рис. 34.

занимающий в «Катоптрике» изолированное положение, представляет позднейшее прибавление. Впервые подробное описание преломления в том числе и опыта с кольцом, мы встречаем у Клеомеда (50 г. н. э.). В сочинении последнего «Циклическая теория метеоров» мы находим сведения об изменении угла при переходе света из более плотной среды в менее плотную. Он знает, что луч, переходя из среды менее плотной в более плотную, приближается к перпендикулярю; при обратном же переходе удаляется от перпендикуляра. Опыт с кольцом наводит его на мысль, что Солнце, уже зашедшее за горизонт, видимо вследствие преломления лучей.

У Птолемея (70—147) мы встречаемся с опытным исследованием преломления света. Прибор, служивший для этой цели, состоял из диска, вокруг центра которого могли вращаться две линейки CM и DM (рис. 34). Диск с линейками погружается наполовину в воду, и линейка CM устанавливалась так, что она казалась составляющей продолжение DM . Затем диск вынимался из воды, и по положениям линеек отсчитывались углы падения и преломления. Таким путём Птоломей получил следующие значения: угол падения

$$\alpha = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ,$$

угол преломления

$$\beta = 0^\circ, 8^\circ, 15\frac{1}{2}^\circ, 22\frac{1}{2}^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 40\frac{1}{2}^\circ, 45\frac{1}{2}^\circ, 50^\circ,$$

должно быть: $0^\circ, 7^\circ 29', 14^\circ 51', 22^\circ, 28^\circ 49', 34^\circ 3', 40^\circ 30', 44^\circ 48', 47^\circ 36'$.

Хотя эти числа и достаточно точны, однако Птоломей не нашёл закона преломления. Наоборот, он счёл возможным утверждать, и это утверждение принималось до Кеплера, что углы падения и преломления пропорциональны друг другу.

Оптические воззрения древних были очень несовершенными. Тем не менее здесь, как и в других областях античной науки, встречаются в зародыше будущие взгляды на природу света. Пифагорейцы, Платон, Евклид принимали теорию зрительных лучей, которая позволяла удовлетворительно описывать факты геометрической оптики. Аристотель подверг эту субъективистскую теорию критике. Он высказал мысль: «Ощущение зрения является следствием движения посредника между глазом и видимым предметом», в котором можно усмотреть намёк на будущую волновую теорию света. В духе своей натурфилософии Аристотель раскрывает роль

среды следующим образом. Среда обладает возможностью (потенцией) пропускать свет, быть прозрачной. Осуществление этой возможности и есть свет. Свет есть «акт прозрачного как такового». Без среды не может быть и видения. Цвет — это не объективное качество предметов, это видимость предметов, обусловленная смещением светлого и тёмного. Чёрный цвет противоположен белому. При смещении этих основных цветов в зависимости от пропорции получаем разные цвета.

Прообразом корпускулярной теории света, трактующей свет как некий материальный субстрат, мы можем считать теорию Эпикура-Лукреция. Атомисты считали, что все ощущения (тепловые, световые, звуковые, вкусовые) обусловлены материальными истечениями из тел:

Так от всяких вещей непрестанно потоком струится
Всякие вещи, везде растекаясь, по всем направлениям.
Без остановки идёт и без отдыха это течение,
Раз непрерывно у нас возбуждается чувство и можем
Всё мы увидеть всегда, обонять и услышать звучащим.

Теория истечений тонких плёнок с предметов — «призраков» усиленно разрабатывается атомистами, вплоть до объяснения конкретных фактов отражения:

... отскакивать всё от вещей заставляет природа
И отражаться назад под таким же углом, как унало.

Из этого видно, что закон отражения в эпоху Лукреция был уже непреложным фактом. В связи с этим укажем, что Герон Александрийский показал, что путь, проходимый световым лучом при отражениях, удовлетворяет принципу, сформулированному впоследствии в общем виде Ферма.

А именно, Герон показывает, что расстояние SMS' (рис. 35), проходимое светом при зеркальном отражении, короче любого расстояния $SM'S'$, т. е. свет, распространяясь от одной точки до другой, с заходом на зеркало, достигает её в кратчайшее время, если путь изламывается на зеркале по закону отражения. В самом деле, если опустить из точки S' перпендикуляр на поверхность зеркала, продолжить его до точки S'' так, что

$$S'O = S''O,$$

и затем соединить S'' с M и M' , то, очевидно,

$$\triangle S'OM = \triangle S''OM \text{ и } \triangle S'M'O = \triangle S''M'O,$$

$$\angle S'MO = \angle S''MO = \frac{\pi}{2} - i = \angle SMM',$$

т. е. линия $S''MS$ — прямая. Но прямая короче всякой ломаной, следовательно,

$$S'M + MS < S''M' + M'S$$

или

$$S'M + MS < S'M' + M'S,$$

что и доказывает предложение.

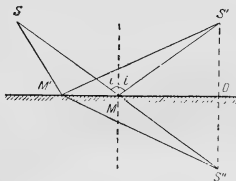


Рис. 35.

На этом мы закончим обзор знаний древних по оптике и обратимся к другим областям физики. Остановимся прежде всего на акустике. Аристотель рассматривает звук как *движение*. Воздух приводится звучащим телом в движение толчками, растягиваясь и сжимаясь по всем направлениям. «Эхо возникает, когда воздух встречает на пути своего движения смену, и отбрасывается назад подобно мячу».

Атомисты, как было указано выше, рассматривали звук как материальные истечения.

Слышится прежде всего всякий звук или голос, как только,
В уши проникнув, своим опп телом нам чувства затронут.
Ибо и голос и звук непременно должны быть телесны,
Если способны они приводить наши чувства в движение.

Разнообразие звуков обусловлено качеством самих звуковых частиц:

В уши внедряются нам разнovidные первоначала,
Коль завывает труба...
Или когда Геликон средь журчания быстрых потоков
Звонкая лебеди песнь оглашает мольбою унылой.

Совсем других взглядов держится Витрувий. Вопрос о природе звука им поставлен в связи с проблемой акустики театральных зал. Из высказываний Витрувия вытекает, что римские архитекторы очень основательно ставили вопросы архитектурной акустики: реверберация звука, эхо, суперпозиция звуковых волн — все эти проблемы занимали римских архитекторов, по крайней мере эмпирически. Витрувий ссылается на учение о гармонии ученика Аристотеля Аристоксена и в свете этого учения рекомендует устраивать в театре специальные медные резонаторы — голосники. Несмотря на то что это место изложено у Витрувия очень неясно, всё же следует признать, что ему было не безызвестно явление резонанса:

«Голос, растекаясь со сцены, как из центра, распространяясь кругами и ударяясь о полости отдельных сосудов, достигает большой звучности и будет (благодаря согласию звуков вызывать) должное ответное звучание», —

говорит он. О природе звука (или, как он выражается, «голоса») им высказывается следующее:

«Голос... есть текучая струя воздуха, которая, соприкасаясь со слухом, ощущается им. Голос движется по бесконечно расширяющимся окружностям, подобно тем бесчисленным кругам волн, какие возникают на спокойной воде, если бросить в неё камень, и которые распространяются, расходясь от центра, как только могут шире, если их не прерывает теснота места или какое-нибудь препятствие, мешающее завершиться очертаниям этих волн. Если же они прерываются препятствиями, то первые из них, отходя назад, расстраивают очертания последующих.

Таким же образом и голос совершает круговые движения, но на воде круги движутся по поверхности лишь в ширину, а голос распространяется не только в ширь, но постепенно восходит и ввысь».

Как видим, у Витрувия можно почувствовать намёк на волновую теорию звука. Вероятно, эти воззрения представляют собой дальнейшее развитие взглядов Аристотеля, дошедших до Витрувия через Аристоксена.

Переходим к рассмотрению воззрений древних на теплоту и строение вещества. Аристотель теплоту считает случайным качеством тел — акциденцией, как говорят философы. У атомистов тепловые ощущения вызваны материальными истечениями. Огонь и у Аристотеля и у атомистов — субстанция; у Аристотеля это один из четырёх элементов, у атомистов — наиболее лёгкие и подвижные частицы, Аристотель не допускает пустоты в природе; Герон допускает возможность малых пустых промежутков между частицами;

атомисты допускают существование атомов и пустоты. Существование атомов атомисты обосновывают и наблюдениями: испарение влаги из сохнувшего платья, стирание твёрдых вещей многократным прикосновением и другие факты. Лукреций оставил замечательную модель атомного движения:

... телам изначально, конечно,
Вовсе покоя нигде не дано в пустоте необъятной.
Наоборот: непрерывно гонимые разным движеньем,
Частью далеко они отлетают, столкнувшись друг с другом,
Частью ж расходятся врозь на короткие лишь расстоянья.
Те, у которых тесней их взаимная сплочённость, мало
И на ничтожные лишь расстояния прядая порознь,
Сложностью самых фигур своих спутаны будучи цепко.
Мощные корни камней и тела образуют железа
Стойкого, так же как всё остальное подобного рода.
Прочие в малом числе в пустоте необъятной витая,
Прядают прочь далеко и далеко назад отбскают
На промежутки большой. Из них составляется редкий
Воздух, и солнечный свет они нам доставляют блестящий.
Множество, кроме того, в пустоте необъятной витает
Тех, что отброшены прочь от вещей сочетаний и снова
Не были в силах ещё сочетаться с другими в движеньи.
Образ того, что сейчас описано мной, и явление
Это пред нами всегда и на наших глазах происходит.
Вот посмотри: всякий раз, когда солнечный свет проникает
В наши жилища и мрак прорезает своими лучами,
Множество маленьких тел в пустоте, ты увидишь, мелькая
Мечутся взад и вперёд в лучистом сиянии света;
Будто бы в вечной борьбе они бьются в сраженьях и в битвах,
В схватке бросаются вдруг по отрядам, не зная покоя,
Или сходясь, или врозь, беспрерывно опять разлетаясь.
Можешь из этого ты уяснить себе, как неустанно
Первоначала вещей в пустоте необъятной мнутуют.
Так о великих вещах помогают составить понятие
Мелкие вещи, пути намечая для их постиженья.

Атомисты искали естественного объяснения метеорологических процессов.

Объясняя происхождение молнии, Эпикур указывает, что она может быть «без сказки». «А сказки не будет, — продолжает Эпикур, — если надлежащим образом следовать видимым явлениям и из них брать указания для объяснения невидимых». Основой метеорологических процессов Эпикур считает ветер. Например, облака могут образовываться «вследствие сгущения воздуха под давлением востров». Но они могут также образоваться вследствие переплетения и «собрания излишеств (испарений) из земли и вод». Гром может быть обусловлен разными причинами: кручением ветра в пустотах туч, вследствие гудения огня, наполненного ветром внутри туч, или трением туч. Разные причины могут вызвать и молнию: трение и столкновение туч, благодаря которому из туч вырываются сочетания атомов, рождающие огонь. Такие ветры могут выталкивать из туч атомы, порождающие блеск. Тучи могут собрать рассеянный свет, который потом делается движением туч и ветра; через тучи могут процеживаться тонкие частицы огня, воспламенять их и вследствие движения огня производить гром. Молния предшествует грому или потому, что «одновременно со вторжением ветра в тучу выталкивается строение атомов, способное производить молнию, а потом ветер, крутясь, производит этот гром; или потому, что они оба одновременно выпадают из тучи, но молния движется к нам с более напряжённой (более стремительной) быстротой, а гром запаздывает подобно тому, как это бывает при некоторых предметах, наблюдаемых с расстояния и производящих какие-нибудь удары».

Подчёркнутое место показывает, что Эпикур допускал возможность различия скоростей света и звука и, вероятно, уже знал о конечной скорости звука, на что указывает заключительное предложение. Ветры образуются вследствие проникновения неогоренной материи и вследствие обильного скопления воды. Град образуется сильным замерзанием «ветристых тел», которые сообщаются и разделяются. Снег образуется, когда толстая вода выпивается из туч вследствие сильного сдавливания ветрами, а затем замерзает вследствие холодности воздуха, лежащего ниже туч. Роса образуется выделением из воздуха частиц, способных «образовать такую сырость». «Лёд образуется как вследствие вытеснения из воды частиц круглой формы и соединения находящихся в воде треугольных и остроугольных частиц, так и вследствие прибавления к воде таких частиц, которые, сплотившись, доставляют замерзание воде, вытеснив некоторое количество круглых частиц».

«Радуга образуется вследствие того, что солнце освещает водообразный воздух, или вследствие особенного смешения света и воздуха».

Мы не приводим дальнейших объяснений Эпикуром атмосферных и космических явлений; сказанного выше достаточно, чтобы судить о характере этих объяснений. При всей их фантастичности это всё же попытки естественного объяснения явлений природы, опирающиеся на наблюдения. В этом их огромное историческое значение; они указывали путь науке, а не религии.

Электричество и магнетизм.

О сведениях древних по электричеству и магнетизму известно очень немного.

Мы уже упоминали, что Фалесу были известны магнитные притяжения и электризация янтаря. У римских авторов встречается упоминание об огнях св. Эльма, однако, конечно, эти явления не ставились в связь не только с действием янтаря, но и с молнией. Древним были известны электрические рыбы и даже использовались ими для медицинских целей (электротерапия!). Так, за 30 лет до н. э. Диоскорид использовал удары электрического угря при лечении подагры и хронической головной боли. Плиний рассказывает, что удар угря чувствуется и тогда, если трогать его не руками, а кольцом.

Понятно, что у древних не было никакого представления о связи между свойствами янтаря и электрических рыб, и то, что их лечение было по существу электротерапией, им, конечно, не было известно.

Теоретические представления о сущности электризации, конечно, не могли сложиться на такой узкой эмпирической базе. Однако Лукреций дал очерк теории магнитных действий, причём его концепция впоследствии развивалась такими мыслителями, как Декарт и Эйлер. Основная мысль Лукреция состоит в том, что магнит излучает мельчайшие частицы, или токи. Эти токи своими толчками разбивают воздух, образуя в нем пустоты. В эти пустоты устремляются атомы железа, и поскольку они чрезвычайно связаны между собой, то и всё железное тело (кольцо) устремляется к магниту. Этому притяжению способствуют и толчки окружающего железного воздуха. Воздух, устремляясь в пустоту, проникает через поры железа и ульскает за собой железное кольцо. Способность магнита притягивать только железо Лукреций объясняет так:

Вовсе не падо тебе удивляться, что ток из магнита
Не в состоянии совсем на другие действовать вещи.
Частью их тяжесть стоять заставляет, — как золото — частью
Пористые телом они, и поэтому ток устремляется
Может свободно сквозь них, никуда не толкая при этом;
К этому роду вещей мы дерево можем причислить.
Среднее место меж тем и другим занимает железо.

Итак, дело в особой структуре железа, в связности его частей и в соответствующих размерах пор. Структура железа и магнита такова, что обеспечивает их прочное сцепление при взаимном притяжении:

Вещи, в которых их ткань совпадает взаимно с другою,*
 Так что, где выпуклость есть, у другой оказалась бы там же
 Впадина, — эта их связь окажется самой тесной.
 Есть и такие ещё, что крючками и петлями будто
 Держатся кренко и так друг с другом скрепляются вместе.
 Это скорее всего происходит в железе с магнитом.

Заключительные замечания

Этим мы закончим обзор достижений античной науки. Подведём краткие итоги. Греки разработали воззрения на природу в целом и усвоили взгляд о взаимосвязи явлений природы. Им не хватало достаточных сведений о частностях, они не могли ещё дойти до детального анализа явлений. В подробностях они оказывались неправы, и науке предстояло сделать новый шаг в направлении изучения законов природы в деталях.

Но первоначальные наивные представления греков о мире, как целом, содержали в себе глубокое зерно истины — и в этом сущностный смысл и значение античной философии. В области точных наук за древними остаётся заслуга в разработке геометрии, астрономии и статистики. Были сделаны первые шаги и в области геометрической оптики; остальные разделы не вышли из состояния зачаточных, отрывочных, эмпирических сведений.

Таким образом, физика на первом этапе её развития была философией природы и статикой. Её метод был методом отвлечённых рассуждений, базирующихся на первичном наблюдении, на непосредственном созерцании.

Её теории представляли догадки и часто являлись фантастическими построениями.

Этим и определяется характер античной физики — физики рабовладельческого общества.

Посмотря на ограниченный характер античной науки, обусловленный самым общественным строем, продуктом которого эта наука являлась, значение античного периода в истории наук чрезвычайно велико. У древних в зачаточном виде мы встречаем основные формы философских и физических воззрений, развитие которых составило задачу последующих этапов научного прогресса.

ФИЗИКА СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Наука и техника
феодального
Востока

Экономической основой феодализма, пришедшего на смену рабовладельческому строю, было крепостное хозяйство; его политической основой была власть фео-

дала над крепостными; его идеологической основой была духовная диктатура церкви, освящавшей феодальную иерархию, в которой она сама занимала одну из верхних ступеней. Церковь монополизировала науку и просвещение; эпоха греческого свободомыслия закончилась, и для науки наступили тяжёлые времена, которые Энгельс назвал «темной ночью средневековья».

Особенно тяжёлым для науки и просвещения Западной Европы был период раннего феодализма (V—XI вв.), когда на обломках римской империи и «варварского» общинно-рабовладельческого строя возникли феодальные государства, распадавшиеся на систему мелких феодальных владений с замкнутым натуральным хозяйством, основанным на крепостном труде. Все материальные и духовные потребности средневекового человека удовлетворялись внутри феодального поместья, и этим резко суживался круг его жизненных интересов. На смену всеобъемлющему мировоззрению античности пришло узкое средневековое мировоззрение.

В этих условиях большая роль в развитии мировой науки и культуры принадлежала странам Востока: Китаю, Индии, Хорезму, Арабскому Халифату и другим государствам Среднего Востока.

В Китае феодальные отношения стали господствовать уже в период так называемой Ханьской империи — с конца II в. до н. э. В эту эпоху были установлены торговые связи между Китаем и Средней Азией (великий шёлковый путь), развивались ремёсла, наука и искусство. В 105 г. Цай Лунь впервые изготовил бумагу из тряпья и древесной коры. Из Китая бумага проникла в Корею и Японию, в Среднюю Азию и Персию. С XII в. она проникает в Европу. С III в. н. э. в Китае начинается производство фарфоровых изделий, достигшее впоследствии высокого уровня.

С древнейших времён в Китае употреблялись для письма камень и бронза. После изобретения бумаги тексты книги стали высекать на камне и перепечатывать на бумаге. Отсюда развилось литографическое искусство. С VII в. начинается процесс печатания с гравированных досок, в 1041—1042 гг. кузнец Би Шэн изобрёл книгопечатание подвижным шрифтом.

С X в. китайцы употребляли порох для фейерверков; в XI в. он получил применение в военном деле. Высокого уровня достигло кораблестроительное искусство и мореплавание. В книгах, относящихся к концу XI в. и началу XII в., встречаются указания на использование компаса

при кораблевождении. Как уже упоминалось в первой главе, компас был известен ещё в рабовладельческий период.

В период Танской династии (618—908) предметы китайского производства пользуются мировой известностью. В Среднюю и Центральную Азию, Корею, Японию, Индокитай вывозятся шёлк, фарфор, бумага, картины, железные изделия.

Высокого уровня развития в Китае получили математические и астрономические знания. В 132 г. китайский астроном Чжан Хэн изобрёл первый в мире сейсмограф для определения направления эпицентра землетрясения. Сейсмограф Чжан Хэна представлял собой бронзовый сосуд с расположенными по его окружности восемью изображениями пасти дракона; в пастьях находятся шарики. Против драконов на земле располагаются восемь жаб с открытыми ртами. Внутри сосуда помещён вертикальный упругий маятник в виде стержня с шариком. Нижнее основание стержня укреплено в дне сосуда. С восьми сторон в стенках сосуда помещены коленчатые рычаги, с помощью которых открываются пасти драконов. Под влиянием сейсмической волны стержень наклоняется и ударяется в колено соответствующего рычага. Пасть дракона открывается, и заключённый в ней шарик падает, попадая в рот жабы. Это даёт возможность определить направление, откуда пришёл сейсмический толчок. В III в. Ма Цзюнь изобрёл сухопутный компас. В это же время был изобретён спидометр для измерения пройденного поворотом расстояния.

Больших успехов добились китайские математики: Чжан Цан (первая половина II в. до н. э.), Цзин Чоу-Чан (I в. н. э.), Сунь Цзы (II в. н. э.), Лю Хуэй (III в.), Цзу Чун-Чжи (430—510), Ван Сяо-Тун (первая половина VII в.) Цинь Цзю-Шао (XIII в.). Чжан Цан и Цзин Чоу-Чан излагали метод решения системы уравнений первой степени и оперировали впервые в истории алгебры с отрицательными величинами. Они же впервые описали способ извлечения квадратного и кубического корня, решали с помощью квадратных уравнений задачи геометрического характера, основанные на применении теоремы Пифагора.

Сунь Цзы разработал метод решения неопределённых уравнений, описанный в книге «Девять отделов математики» (1247) математика Цинь Цзю-Шао. В этой же книге описан метод Ван Сяо-Туна решения геометрических задач, приводящих к кубическому уравнению, аналогичный известному в высшей алгебре методу Горнера (1819). Цинь Цзю-Шао применил этот метод и к решению уравнений четвертой степени. Лю Хуэй



Рис. 36. Сейсмограф Чжан Хэна.

применил подобие треугольников для определения недоступных расстояний, Цзу Чун-Чжан получил для π приближённое значение $\frac{365}{113}$.

В XI—XIV вв. китайские математики Цзи Сянь, Ян Ху-Эй, Чжоу Шя-Цзе учили извлекать корни степеней выше второй, вычислять биномиальные коэффициенты, знали арифметический треугольник Паскаля.

В Китае велась и философская борьба. В конце VI в. и начале V в. до н. э. возникло этно-политическое учение Конфуция, в V—IV вв. учение Мо Цзи, в IV в. учение о «дао», как основе всего сущего. В III—II вв. до н. э. Чжоу Янь учил, что мир состоит из пяти элементов: воды, огня, дерева, металла и земли. Это учение в дальнейшем приобрело мистическую окраску. Во II в. до н. э. Лю Ань и его последователи учили о первоначальном жизненном эфире, как основе вселенной. Лёгкая и чистая часть этого эфира образует положительное начало — небо, тяжёлая и мутная — отрицательное — землю. Смещение и изменение этих начал образует все материальные вещи. Идею о происхождении всех вещей из жизненного эфира развивал позднее Ван Чун (27—97 гг. н. э.). В природе нет преднамеренности и целесообразности, и вещи происходят из эфира сами собой. Природу следует познавать путём опыта, а истину — путём доказательства.

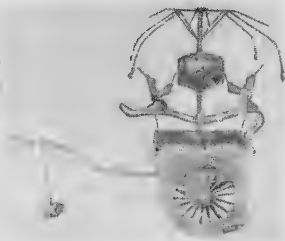


Рис. 37—38. Тележка — прибор для измерения пройденного расстояния.

В XI—XII вв. борьба материализма и идеализма развернулась в рамках так называемой «ортодоксальной школы». Так, Чжоу Дань-И (1017—1073) рассматривал с материалистических позиций образование вселенной из первоначального хаоса, состоящего из положительного, или мужского начала и отрицательного, или женского. Смещением и взаимодействием этих начал произошли

пять элементов: вода, огонь, дерево, металл и земля, из которых произошли все вещи. В дальнейшем первоначальные материалистические воззрения ортодоксальной школы утрачивались и развивались идеалистические концепции в связи с развитием и обострением классовой борьбы в Китае.

Из сказанного следует, что в период раннего европейского средневековья Китай жил напряжённой культурной жизнью. Его вклад существенно обогатил мировую культуру.

В Индии в период с IV в. до н. э. и VIII в. н. э. были накоплены важные сведения из области математики, астрономии, медицины и т. д. В философской школе Ваймешика возникли идеи атомизма. Математические знания индийцев изложены в книгах «Сурья-Сиддханта» (IV—V вв. н. э.) и трудах Ариабхаты (476—?), Брамагуны (598—660), Бхаскара-Анария (1114—?) и др. Индусы разработали систему нумерации с употреблением знака нуль (встречается в книге «Сурья-Сиддханта»). В это же время они умели извлекать квадратные и кубические корни, суммировать арифметические ряды и геометрическую прогрессию, решать неопределённые уравнения второго порядка. В «Сурья-Сиддханте» есть таблица синусов, у Ариабхаты даётся значение $\pi = 3,1416$.

Ариабхата высказал мысль о вращении Земли, имеющей форму шара, вокруг своей оси. Индусы знали о разнице продолжительности дня и ночи в различных широтах; в «Сурья-Сиддханте» сообщается об астрономических познаниях Ассирии и Рима. Искусством наблюдать положение небесных светил индусы обладали с древнейших времён.

Большую роль в развитии культуры сыграли и страны Средней Азии. К IX в. н. э. В Мервском оазисе значительно развились хлопководство и шелководство, в долинах Зеравшана и Кашка-Дарьи возделывались пшеница, ячмень и рис, в Фергане добывались каменный уголь, железо, медь. Ферганское оружие и изделия из меди служили предметом экспорта.

Высокого уровня достигла торговля. Через Среднюю Азию шли караванные пути в Персию, Китай, Багдад, Поволжье. Караванная торговля сильно способствовала возникновению таких городов, как Мерв, Бухара, Самарканд. Здесь возводились крупные сооружения: мечети, дворцы, производились предметы искусства. В Бухаре была прекрасная библиотека. В городах Ургенче, Самарканде, Бухаре, Ките строились обсерватории, образовывались астрономические школы. Выдающимися учёными были хорезмийцы Мухаммед ибн Муса аль Хорезми, создатель алгебры, и Абу Рейхан Бируни (973—1048), астроном, географ и минералог, а также таджик Ан ибн Сина (Авиценна, 980—1037), философ, медик и естествоиспытатель.

Уже 22 лет Бируни производит астрономические измерения по определению координат различных пунктов Хорезма с помощью круга и астролябии. В это время он опровергает мнение, что фазы Луны производятся движением воздуха, и указывает, что «изменение лунных фаз зависит от того, что Солнце по-разному освещает Луну по мере её передвижения в порядке последовательности по знакам Зодиака». Бируни принадлежат большие заслуги как в области практической, так и сферической и физической астрономии. В области практической астрономии им был создан прибор для определения направления сторон света, названный им индийским кругом, затем большой квадрант в 15 локтей диаметром (около 7,5 м). С помощью этого квадранта Бируни определял высоту светил с точностью до 2". Им была усовершенствована астролябия, или армиллярная сфера. При решении задач сферической астрономии Бируни широко пользовался тригонометрией. Он определил угол наклона эклиптики к экватору и, найдя его равным 23°35'45", исследовал его вековые изменения. По расчётам Бируни этот наклон уменьшается на 52",6 за сто лет. В 1020 г. Бируни вновь определил угол наклона эклиптики и нашёл его равным 23°34'0". Это число он считал наиболее точным. Действительно, современные подсчеты дают для эпохи 1020 г. значение 23°34'0",45. Бируни производил также измерения радиуса Земли. Он производил эти измерения во время путешествия в Индию, где он разработал метод определения радиуса Земли по видимому понижению горизонта. Если измеренный угол понижения горизонта α , а высота горы H , то радиус Земли вычисляется по формуле:

$$R = H \frac{\cos \alpha}{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}$$

По подсчетам Бируни радиус Земли оказался равным 1081,66 фарсанга (1 фарсанг равен 3 арабским милям), окружность Земли — 20400 арабским милям и длина 1° — 56,6 мили. Арабская миля составляла 4000 локтей. В XX в. было установлено, что арабский локоть составлял 49,33 см; таким образом, арабская миля составляла 1927 м, а длина 1° земной окруж-

ности по измерениям Бируни равнялась 111,6 км. Современное значение — 111,4 км. Бируни дал формулы для вычисления широты места, которые впоследствии приписывались Тихо Браге, и разработал метод определения долгот. Определения долгот, произведённые Бируни по его методу, очень точны.

Из наблюдений Бируни в области физической астрономии замечательны его наблюдения над изменением цвета Луны во время лунного затмения и солнечной короны во время полного солнечного затмения. В своей «Минералогии» он определил удельные веса минералов и металлов, учил об историческом развитии земной поверхности.

Особенно важно, что Бируни высказывал мысль о движении Земли вокруг Солнца. Он считал, что геоцентрическое учение «представляет много и большие затруднения». Возражения, что при движении Земли камни и деревья падали бы с неё, он опровергает указанием на свойство Земли притягивать тела к центру. Это мнение он заимствует у знаменитого индусского астронома Брамагушты. Индусскую науку Бируни изучал глубоко и всесторонне и познакомил с ней учёных Востока в своей книге «Индия» («Точное изложение индийских представлений, как удобопринимаемых, так и опровергаемых разумом»), написанной им в 1030 г. Из 80 глав этой книги 40 посвящено астрономии. Знакомя учёных Средней Азии с достижениями индусской науки, Бируни в свою очередь перевёл на санскритский язык «Начала» Евклида, «Альмагест» Птолемея, свой трактат об астрологии. Так этот замечательный учёный способствовал распространению научных знаний и развитию культурных связей между народами.

Большую роль в распространении научных знаний и культуры Востока сыграли арабы. Это были подлинные «разносчики культуры» в эпоху раннего средневековья. Арабский язык так же часто встречался в научных трактатах, как арабские серебряные дирхемы в торговле. Завоевав Александрию, арабы познакомились с достижением античной науки. Распространение власти арабского халифата на Среднюю Азию позволило им ознакомиться с достижениями культуры Востока. Так образовался тот сплав античной и восточной науки, который известен в истории человечества под именем арабской науки.

Центром этой науки в Европе стал университет в Кордове (после завоевания Испании арабами). От арабов Европа узнала китайские изобретения: бумагу, компас, порох, индусскую десятичную систему исчисления, персидскую ветряную мельницу, астрономию, математику хорезмийцев, Аристотеля и Птолемея в арабских переводах, медицину Авиценны. Вместе с тем от арабов Европа узнала и о «тайных науках»: алхимии, астрологии, магии, расцветших пыльным цветом в суеверном и невежественном средневековом мире.

Выдающимися представителями арабской науки были астроном аль Баттани (850—929), египтянин ибн аль Хайтам (Альгазен, XI в.), механик аль Казини (XII в.), философ ибн Рошд (Аверроэс, 1126—1198). Аль Баттани исправил ряд результатов Птолемея, касающихся определения наклона эклиптики к экватору и предвращения равнодействий, ввёл тригонометрические функции, составил таблицу синусов. Альгазен изучает физиологию зрения. Глаз он считает составленным из четырех перепонок и трёх жидкостей, важнейшей из которых (жидкостей) является хрусталик. В хрусталике, по Альгазену, получается изображение. То, что зрение двумя глазами даёт одно изображение предмета, объясняется соединением обоих зрительных впечатлений в одно с помощью общего зрительного нерва.

Альгазен рассматривает плоские, сферические (выпуклое и вогнутое), цилиндрические и конические зеркала (также выпуклые и вогнутые). Математическая постановка Альгазеном задачи о зеркалах мало плодотворна; он ищет не изображения данной точки, а точку зеркала, из которой луч, идя от данной точки, попадает в глаз (задача Альгазена).

В вопросе о преломлении света Альгазен дополняет наблюдение Птолемея о том, что в более плотной среде преломлённый луч приближается к перпендикуляру в точке падения, но закону — падающий и преломлённый луч находится в одной плоскости с перпендикуляром. Далее, Альгазен осматривает утверждение Птолемея о пропорциональности углов падения и преломления и устанавливает непропорциональность последних. Описав способ измерения углов преломления, он, однако, не приводит результатов измерений.

Альгазену известно увеличительное действие шарового сегмента (плосковыпуклой линзы), хотя он говорит только о наблюдении, относящемся к случаю наложения линзы плоской стороной на предмет.

Альгазену не чуждо понятие угла зрения и его зависимости от расстояния. Так, он объясняет увеличение размеров Солнца и Луны при их приближении к горизонту (заходе и восходе) обманом чувств. Именно в этом случае земные предметы, находящиеся между глазом и светилом, создают впечатление увеличения расстояния и, следовательно, впечатление увеличения предмета.

Интересна попытка Альгазена определить высоту атмосферы по величине сумерек. Солнце, опустившись под горизонт, ещё продолжает посылать рассеянные атмосферой лучи; этим обусловлены зори. Продолжительность сумерек даёт Альгазену возможность утверждать в соответствии с наблюдениями древних, что граница их соответствует углу опускания Солнца под горизонтом в 10° . Отсюда, считая атмосферу равномерно плотной и имеющей границу, отражающую лучи, Альгазен определяет её высоту в 52 000 шагов. Несмотря на неточность расчёта, указанную впоследствии Кеплером (предположение однородности атмосферы), следует признать метод Альгазена оригинальным и интересным.

О механике арабов мы можем судить по сочинению Альгацци «Книга о весах мудрости» (1121)¹. Это книга о весах с равноплечим коромыслом и чашками. На коромысло этих весов нанесены деления; чашек всего пять, из них некоторые подвижные. Вследствие этого весы могут быть употреблены как безмен и с помощью одной подвижной чашки вес груза может быть определён без гирь. Чашки могут быть подвешены одна под другой для взвешивания в воде, и, следовательно, весы могут быть использованы в качестве гидростатических. С помощью этих весов Альгацци добился замечательных результатов в определении удельных весов. Приведём таблицу его результатов:

Литое золото	19,05	Кованое железо	7,74
Ртуть	13,56	Жемчуг	2,60
Свинец	11,32	Слоновая кость	1,64
Серебро	10,30	Кипящая вода	0,958
Литая медь	8,66	Вино	1,022

Особенно интересно, что Альгацци сумел установить зависимость удельного веса воды от температуры.

¹ Эта книга была найдена и опубликована русским востоковедом Ханыковым.

Далее он указывает, что закон Архимеда о потере веса тел в жидкости применим к воздуху. Так как воздух имеет вес, то плотность его увеличивается по мере приближения к поверхности земли. Поэтому вес тел будет изменяться на различных высотах: чем дальше, тем он будет больше (речь идёт о кажущемся весе тел). Альгацини известно, далее, что вес тела пропорционален количеству вещества (массе) и что скорость измерится отношением пути ко времени.

Патурфилософию арабов представляет Аверроэс, ревностный комментатор Аристотеля. В своём толковании Аристотеля Аверроэс высказывает такие принципы, как вечность мира и материи, что бог действует прямо на небо, а на земные вещи лишь косвенно, что личного бессмертия человека нет, а есть только бессмертие разума. Немудрено, что аверроизм был объявлен в середине века папским заблуждением. Интересно отметить, что Аверроэс считает птоломееву систему неправдоподобной, выражает сожаление, что в силу старости не может подробно исследовать этот вопрос, и высказывает надежду, что его сомнения побудят к исследованию других.

Таким образом, наука средневекового Востока имела большие и неоспоримые достижения, оказавшие существенное влияние на развитие науки и техники в Европе. Рассмотрим теперь, как обстояло дело в этой последней.

Наука и техника
в Европе в эпоху
раннего
средневековья.

«Средневековье развилось из совершенно примитивного состояния. Оно стерло с лица земли древнюю цивилизацию, древнюю философию, политику и юриспруденцию и начало во всем с самого начала. Единственное, что средневековье взяло от погибшего древнего мира,

было христианство и несколько полуразрушенных, утерявших всю свою прежнюю цивилизацию городов. Следствием этого было то, что как это бывает на всех ранних ступенях развития, монополию на интеллектуальное образование получили цехи и что само образование приняло тем самым преимущественно богословский характер».

Так писал Энгельс в книге, посвящённой одной из первых революций, расшатавших феодальный порядок («Христианская война в Германии»), К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч., т. VIII, стр. 128) и эта его характеристика совершенно точно обрисовывает культурный уровень раннего европейского средневековья. Сводка тех «наук», которые считала возможным использовать церковь в своих школах под общим названием «семь свободных искусств», представляла собой смесь церковных канонических правил с невероятными утверждениями о строении земли и неба (геометрия и астрономия).

Земля представлялась ленточкой, плавающей в воде, небо — хрустальным сводом на четырёх столбах, центр Земли полагался в Иерусалиме. Что же касается арифметики, то её задачей было толковать мистическое значение чисел, встречающихся в книгах священного писания.

Астрономия наряду с фантастическим описанием небесных явлений содержала правила предвычисления переходящих церковных праздников (пасхалия). Вместе с уставом церковного пения (музыка) эти науки образовывали так называемый «квадриум» — вторую ступень наук. Первая ступень — «тривиум» (грамматика, риторика, диалектика) была посвящена изучению латинского языка и церковных авторов. Таково было образование в средневековых школах, которых к тому же было крайне недостаточно. Немудрено, что при таком уровне науки и просвещения широкое распространение получила вера в колдовство, в существование «мистической силы». В середине века пыльным цветом расцвели магия, алхимия, астрология.

Про учёного раннего средневековья Г е р б е р т а (940—1003), получившего образование в Кордове у арабов, говорили, что он продал душу

дьяволу, несмотря на то что впоследствии этот Герберт был даже папой (Сильвестр II). Про другого учёного той же эпохи Альберта Великого (1193—1280), который описал в своих сочинениях компас и порох, говорили, что он умел делать чудеса самого невероятного свойства, вроде превращения земного пейзажа в летний сад. Эти предрассудки оказались очень живучими, и ещё в XVII в. выходили трактаты, посвящённые узнаванию колдунов и ведьм.

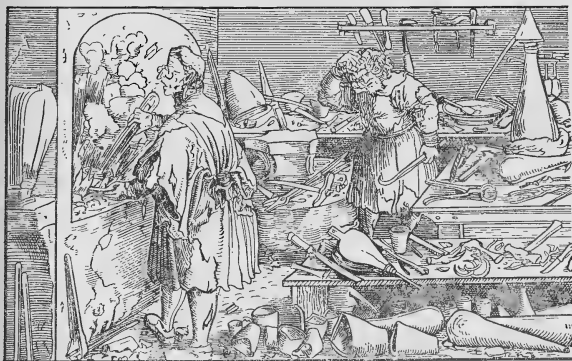


Рис. 39. Алхимическая лаборатория.

В Восточной Европе в эпоху раннего средневековья культурный уровень был значительно выше. Если в Западной Европе грамотность была редким явлением и даже короли не могли похвастаться своей образованностью, то на Руси после принятия христианства грамотность распространялась очень быстро.

Найденные в недавних археологических раскопках в Повгороде берестяные грамоты и надписи на предметах житейского обихода свидетельствуют о том, что в древнем Повгороде грамотность была бытовым явлением. Грамоты, написанные на бересте костяным резцом, содержат хозяйственные, политические, бытовые записи и письма. Древнейшая грамота такого рода относится к XI в. Имеются письма женщин, свидетельствующие о наличии грамотных женщин среди простого народа (ткачихи, домашние хозяйки). В 1030 г., как свидетельствует летопись, князь Ярослав организовал школу, в которой училось 300 детей. Ещё раньше в Киеве отец Ярослава, киевский князь Владимир, открыл школу в Киеве. Среди русского народа распространялась любовь и уважение к книге: «Велика бо бывает польза от ученья книжного». Наряду с мужчинами учились и женщины. Черниговская княжна Ефросинья «не во Афинах учися, но афинейски премудрости изучи». Таким образом, в эту эпоху на Руси была известна и «афинейская», т. е. греческая, наука. В русских книгах XI—XII вв. наряду с церковными текстами встречались исторические, географические, астрономические и

математические сведения. Так, в произведении новгородского дьякона К и р и к а «Учение им же ведати человеку числа всех лет» (1134) содержатся календарно-астрономические расчёты, в которых Кирик пользуется и геометрической прогрессией. Текст книги свидетельствует, что в это время на Руси были и другие «числолюбцы», подобные Кирику.

Высокого уровня достигала материальная культура. Соборы Киева, Новгорода и других древних русских городов свидетельствуют о высоком уровне строительной техники на Руси. Широко были развиты разнообразные ремёсла. Особенного внимания заслуживает техника обработки металла. Железо выплавлялось из руды на древесном угле в сыродутных печах («домнищах») — предшественниках современных домн. Образовавшаяся масса — «крица» подвергалась дальнейшей механической (проковке) и термической (сварке) обработке. Кроме железа, русские металлурги умели получать сталь: сыровую (в тех же сыродутных печах), сварочную, получаемую из железа в кузнечном горне, и цементованную, получаемую «томлением» в огнеупорных сосудах. Железо и сталь подвергались горячей и холодной обработке. Кузнечный горн, наковальня, молот, клещи и зубило были инструментом кузнеца, выделявавшего из стали предметы хозяйственного обихода (серпы, косы, ножи и т. д.) и оружие. Для холодной обработки служило то же зубило, молотки и напильники. Русские умели изготавливать многослойные пожи и мечи, узорчатые стальные изделия (булат). Клипки сваривались на мягкой и вязкой железной основе, на которую наваривалось стальное лезвие, подвергавшееся дополнительному науглероживанию (цементизации). Металлографический анализ показывает высокое качество и однородность структуры изделий. Говоря о качестве русского оружия, аль Бируни писал, что у русских получают «вещи удивительные и редкостные, такие, какие они желали получать».

Высоким качеством отличались и изделия русских замочников. Они изготавливали сложные замки из большого числа (до 36) тщательно продуманных деталей. Русское оружие и замки экспортировались в Западную Европу и страны Востока, где они славилась своим качеством и дорого ценились.

Усиление феодальной раздробленности (княжеские «усобицы»), а особенно нашествие татар в XIII в. затормозили развитие русской культуры. Перед русским народом стала первоочередная национальная задача: отстоять родную землю от иноземных захватчиков и создать единое государство. Этой задаче и была посвящена жизнь русского народа в эпоху позднего средневековья.

По-иному сложилась обстановка в Западной Европе. Здесь столкновение с Востоком носило другой характер. В период так называемых крестовых походов (1096—1270) европейские «крестоносцы» устремлялись на Восток под предлогом освобождения «гроба господня», на самом же деле для захвата новых земель и грабежа.

Хотя экономическое развитие в эпоху раннего феодализма шло медленно, всё же переход к более прогрессивной форме общественного производства начал сказываться. Сельское хозяйство становилось всё более продуктивным и разнообразным, развивалось ремесло, которое, наконец, отделилось от сельскохозяйственного производства, и вместе с тем возникли центры ремесла и торговли — средневековые города. С возникновением городов пульс общественной науки ускорился, экономическое развитие пошло более быстрыми темпами. Города вместе с феодалами и церковью поддерживали крестовые походы, сулившие доступ к сказочным богатствам Востока. Вместе с тем города становились центрами антифеодального движения, очагами выступлений против господствующей церкви

(так называемых «ересей»). Они активно вмешивались в борьбу светской и духовной власти. Идеологическая борьба становилась всё более насыщенной и напряжённой. В городах возникли университеты (XII в.): пробудился интерес к философии. С университетских кафедр излагалось теперь учение Аристотеля, правда, приспособленное церковью для своих нужд. И хотя церковь оставляла за собой право на обладание высшей истиной, всё же в университетской среде возникло стремление освободиться из-под эгиды богословия.

Большое значение в развитии философской мысли имел спор о природе общих понятий. Так называемые «реалисты» учили, следуя Платону, что общие понятия, идеи существуют реально, а конкретные вещи представляют только призраки идей, их несовершенные копии. «Номиналисты» учили, что общие понятия — только имена, обозначения конкретных вещей, представляющих единственную подлинную реальность. Маркс называл номинализм первичной формой материализма в эпоху средневековья. Стремясь освободить мысль от контроля богословия, номиналисты выдвинули тезис о существовании двух истин: истины, основанной на божественном откровении и потому недоказуемой, и истины, находящейся в области разума, которая может и не совпадать с первой. Это учение о двух истинах сыграло известную прогрессивную роль как первый этап борьбы за освобождение науки и философии от ига богословия. Но церковь отнеслась непримиримо к этой робкой попытке. В 1226 г. папа Иоанн XXI писал в специальном послании по поводу учения о двух истинах: «От высокопоставленных и влиятельных людей получал я сведения, что некоторые учащие в факультете искусств, выходя за его пределы, так излагают в своих лекциях разные вздорные и несчастные положения, как будто бы они были сомнительными и подлежащими диспуту. . . А дабы не казалось, что они сами разделяют то, что так хорошо излагают, дают прикровенные ответы. . . Говорят, что излагаемые мнения — истины по философии, но не истины по католической вере, как будто существуют две истины, как будто в противоположность священному писанию есть истина в сочинениях проклятых язычников».

Позднее церковь осудила и сожгла сочинения сторонника учения о двух истинах — номиналиста Вильгельма Оккама (умер около 1347 г.), а самого Оккама отлучила от церкви.

Всё же благодаря этим дискуссиям, а также изучению (хотя и искажённой) античной философии университетское образование сыграло известную роль в подготовке научного мировоззрения.



Рис. 40. Средневековый философ.



Рис. 41. Преподавание фармация.

Однако важнейшей предпосылкой опытного естествознания явилось развитие техники в эпоху развитого феодализма.

Энгельс писал:

«Когда после темной ночи средневековья вдруг вновь возрождаются с неожиданной силой науки, начинающие развиваться с чудесной быстротой, то этим чудом мы снать-таки обязаны производству. Во-первых, со времени крестовых походов промышленность колоссально развилась и вызвала к жизни массу новых механических (ткачество, часовое дело, мельница), химических (красильное дело, металлургия, алкоголь) и физических фактов (очки), которые доставляли не только огромный материал для наблюдений, но также и совершенно иные, чем раньше, средства для экспериментирования и позволяли сконструировать *новые* инструменты. Можно сказать, что собственно систематическая экспериментальная наука стала возможной лишь с этого времени»¹.

¹ Ф. Э н г е л ь с, Диалектика природы, 1953, стр. 145.

Несомненно, что в развитии технических изобретений большую роль сыграла (как и в ознакомлении с античной наукой) связь с Востоком. Энгельс, указывая в числе причин, ускоривших темп развития средневековой культуры, «массу изобретений», добавляет в скобках «и импорт изобретений с Востока». Оттуда европейцы импортировали такие важнейшие изобретения, как компас (XII в.), порох (XII—XIII вв.), бумага (XII—XIII вв.), механические часы.

Механические часы представляли собой систему колёс, приводимых в движение падающим грузом. Груз приводит в движение большое зубча-



Рис. 42. Мастерская часов.

тое колесо путём разматывания верёвки или цепи, обмотанной вокруг оси колеса. Это движение передаётся шестерне, сцепленной с ботой первого колеса, движение шестерни — другому колесу с соответственным изменением скорости. Для обеспечения равномерности вращения применяли крылатку, позже изобрели приспособление, называемое *биянцем*. Биянец представляет собой штангу с грузами, подвешенными на её концах, причём точки подвеса грузов можно перемещать. Штанга вращается вокруг вертикальной оси, на которой укреплены две лопатки. На ось зубчатого колеса, скорость которого должна быть отрегулирована, помещается другая зубчатка, представляющая собой цилиндр, боковая поверхность которого нарезана зубьями. Эти зубья задевают попеременно то за верхнюю, то за нижнюю лопатку биянца, штанга которого будет качаться в горизонтальной плоскости, и при каждом его повороте колесо поворачивается на один зубец. Передвижение грузов биянца, изменяя его период колебания, регулирует таким образом ход часов. Часы были привнесены в Европу арабами в XI столетии. В 1232 г. император Фридрих II получал такие часы в подарок от египетского султана. В XIII—XIV вв. они распространяются

во многих городах Европы в качестве башенных часов. Гениальный итальянский поэт Данте (1265—1321) описывает в своей «Божественной комедии» такие часы.

В XV в. появляются портативные часы с пружиной.

Важную роль в техническом прогрессе сыграла мельница. Не случайно название придильной машины (мюль) в английском языке совпадает с названием мельница. В середине века наряду с применением двигательной силы людей и животных в мельнице стала широко применяться двигательная сила воды и ветра. Римское нижнебойное водяное колесо



Рис. 43. Мастерская очков.

усовершенствуется применением среднебойного, а затем и верхнебойного (наливного) колеса (XIV в.). Сила ветра, получившая впервые применение в парусных судах, стала применяться и в ветряных мельницах. С ветряными мельницами европейцы познакомились во время крестовых походов; во Франции они стали известными с 1105 г., в Англии — с 1143 г. Позднее они получили распространение в Германии (немецкая мельница, вращающаяся на козлах); так пазыпасмая голландская мельница, в которой вращаются только крыша и крылья, изобретена во Фландрии в 1630 г.; она сыграла большую роль в освоении залитых земель, приводя в движение насосы, откачивающие воду. Применявшаяся вначале только для размола зерна, мельница в дальнейшем применялась в сукновальном производстве, в металлургии (для приведения в движение воздуходувных мехов), в горнорудном деле (для откачки воды, дробления руды), в военном (размол пороха).

Изобретение огнестрельного оружия (XIV в.) увеличило потребность в металле. От сыродутного способа получения железа из руд перешли (XV в.) к доменному способу, при котором производительность печи возросла во много раз, металл получался в жидком виде, что способствовало развитию литейного дела. Вооружённые огнестрельным оружием и компасом, европейцы могли отважиться на дальние путешествия; техни-

ческий прогресс подготовил эпоху великих географических открытий.

И, наконец, исключительно важное значение для развития науки и просвещения имело изобретение книгопечатания (1440 г.). Книга из предмета роскоши превратилась в могучий фактор культуры. На памятном листе великих открытий, изготовленном художником XVI в. Иоганном Страданусом (см. рис. 71) мы видим в центре печатный станок, помещённый между картой западного полушария (вновь открытой Америки) и картушкой компаса, изобретателем которой назван итальянец Флавий Амальфи Диозия. Здесь же помещена пушка, бочонок с порохом и ядра. Нельзя не признать, что автор рисунка схватил суть дела, нарисовав те изобретения, которые положили конец средневековому застою.

Необходимо упомянуть ещё о возникновении оптической промышленности. С XIII в. она зародилась в виде венецианских стекольных заводов, производивших, кроме оконного и художественного стекла, зеркала. В конце того же века появились очки. На очередь был поставлен вопрос об изобретении подзорной трубы, решённый, по видимому, в конце XVI в.



Рис. 44. Книгопечатание.

Эпоха развитого феодализма

познакомила средневекового человека не только с достижениями материальной культуры Востока, но и с культурным наследием древности. В XIII в. появляются переводы сочинений Архимеда, в том числе трактат «О равновесии плоскостей», появляется перевод сочинения по механике «О тяжёлом и лёгком», приписываемый Евклиду, появляются переводы арабских механических трактатов. В конце этого века появляются сочинения по механике, приписываемые Иордану Неморарию. В этих сочинениях механика трактуется в духе «Механических проблем» перипатетической школы¹. Вместе с тем обсуждаются и новые проблемы: равновесие рычага, наклонная плоскость, однако правильного решения этих задач ещё не найдено. Тем не менее Неморарий сделал важный шаг, введя понятие «тяжести по положению», которое означает, что ускорение падения будет зависеть от наклона пути по которому тело падает.

Рожер
Бэкон.

В том же XIII веке мы встречаемся с исключительной личностью Рожера Бэкона (1214—1294), провозвестника опытного естествознания. Воспитанный

Оксфордского университета, широко образованный человек, глубоко изучивший античные и арабские рукописи, Бэкон вёл неутомимую борьбу с суевериями, разоблачал лежащее в их основе невежество. «Если бы

¹ Перипатетиками назывались последователи Аристотеля.

пред не знающими того, что магнит притягивает железо, произвести, прежде чем сделать опыт, заклинания и заговоры, то они никак не приписали бы явление естественному притяжению». Он выступает против слепого преклонения перед авторитетами, бичует "правы духовенства и монахов. Свыше двадцати лет просидел он в тюрьмах, выйдя после вторичного заключения на свободу уже 74-летним стариком.

Бэкон учил, что истинное знание добывается опытом. «Два есть способа познания: чрез аргументы и чрез опыт. Аргумент приводит к заключению и нас заставляет заключать о вопросе, но он не даёт удостоверения, не устраняет сомнения, дабы душа успокоилась в созерцании истины, пока эта истина не будет найдена путём опыта».



Роджер Бэкон.

Сам Бэкон неутомимо экспериментирует. Он открыл состав пороха, нашёл способы получения фосфора, магния, висмута, изучал действия дара. Много он занимался оптикой, был изобретателем камеры-обскуры, изучал действие сферических зеркал. Он нашёл, что лучи, отраженные этими зеркалами, не собираются в одной точке, т. е. открыл сферическую аберрацию. Он объяснил возникновение радуги преломлением в дождевых каплях, советовал людям со слабым зрением прикладывать к глазу выгнутую линзу. Бэкон предсказывал, что развитие научного эксперимента приведет к величайшим техническим изобретениям. «Расскажу о равных делах природы и искусства, в которых нет ничего магического. Увидим, что всё могущество магии ниже этих дел и недостойно их.

Можно сделать орудия плавания, идущие без гребцов, суда речные и морские, плывущие при управлении одним человеком скорее, чем если бы пилесены были людьми. Также могут быть сделаны колесница без коней, движущаяся с необычайной скоростью. . . можно сделать летательные аппараты: человек, сидящий в середине аппарата, помощью некоторой машины двигает крыльями наподобие птичьих. . . прозрачные тела могут быть так обделаны, что отдалённые предметы покажутся приближенными, и наоборот, так что на невероятном расстоянии будем читать малейшие буквы и различать мельчайшие вещи, а также будем в состоянии усматривать звёзды, как пожелаем».

Так, в лице Бэкона в эпоху средневековья мы видим провозвестника новой, экспериментальной науки, отличной по своему характеру как от античной, так и средневековой науки. И хотя его деятельность была и е-к-л-ю-ч-е-н-и-е-м, однако, чем дальше, тем чаще начинают звучать голоса критиков схоластики и призывы к опыту. Средневековая наука подготавливает новый этап научного развития.

ЗАРОЖДЕНИЕ НОВОЙ НАУКИ

Характеристика
Энгельса эпохи
зарождения новой
науки.

«Современное исследование природы — единственное, которое привело к научному, систематическому, всестороннему развитию, в противоположность гениальным натурфилософским догадкам древних и весьма важным, но лишь спорадическим и по большей части безрезультатно исчезнувшим открытиям арабов, — современное исследование природы, как и вся новая история, ведёт своё летоисчисление с той великой эпохи, которую мы, немцы, называем, по приключившемуся с нами тогда национальному несчастью¹, реформацией, французы — ренессансом, а итальянцы — чинквеченто² и содержание которой не исчерпывается ни одним из этих наименований. Это — эпоха, начинающаяся со второй половины XV столетия. Королевская власть, опираясь на горожан, сломила мощь феодального дворянства и создала крупные, в сущности основанные на национальности, монархии, в которых развились современные европейские нации и современное буржуазное общество; и в то время как горожане и дворянство ещё продолжали между собою драку, немецкая крестьянская война пророчески указала на грядущие классовые битвы, ибо в ней на арену выступили не только восставшие крестьяне, — в этом уже не было ничего нового, — но за ними показались предшественники современного пролетариата с красным знаменем в руках и с требованием общности имущества на устах. В спасённых при падении Византии рукописях, в вырытых из развалин Рима античных статуях перед изумленным Западом предстал новый мир — греческая древность; перед её светлыми образами исчезли призраки средневековья; в Италии наступил невиданный расцвет искусства, который явился как бы отблеском классической древности и которого никогда уже больше не удавалось достигнуть. В Италии, Франции, Германии возникла новая, первая современная литература. Англия и Испания пережили вскоре вслед за этим свою классическую литературную эпоху. Рамки старого «orbis terrarum»³ были разбиты; только теперь, собственно, была открыта земля и были заложены основы для позднейшей мировой торговли и для перехода ремесла в мануфактуру, которая в свою очередь послужила исходным пунктом для современной крупной промышленности. Духовная диктатура церкви была сломлена; германские народы в своём большинстве прямо сбросили её и приняли протестантизм, между тем как

¹ «Национальное несчастье» немцев заключалось в том, что в результате бюргерско-крестьянского восстания была реформирована церковь, но феодальная раздробленность и расчленение Германии ещё более усилились (сноска моя. — П. К.).

² «Чинквеченто» — пятнадцатое столетие.

³ Круга земель.

у романских народов стало всё более и более укореняться перешедшее от арабов и питавшееся новооткрытой греческой философией жизнерадостное свободомыслие, подготовившее материализм XVIII века.

Это был величайший прогрессивный переворот, из всех пережитых до того времени человечеством, эпоха, которая нуждалась в титанах и которая породила титанов по силе мысли, страсти и характеру, по многосторонности и учёности. Люди, основавшие современное господство бур-



Рис. 45. Высадка Колумба.

жуазии, были всем чем угодно, но только не людьми буржуазно-ограниченными. Наоборот, они были более или менее овеяны характерным для того времени духом смелых искателей приключений. Тогда не было почти ни одного крупного человека, который не совершил бы дальних путешествий, не говорил бы на четырёх или пяти языках, не блистал бы в нескольких областях творчества. Леонардо да Винчи был не только великим художником, но и великим математиком, механиком и инженером, которому обязаны важными открытиями самые разнообразные отрасли физики. Альбрехт Дюрер был живописцем, гравёром, скульптором, архитектором и, кроме того, изобрёл систему формификации, содержащую в себе некоторые идеи, которые много позднее были вновь подхвачены Монталамбером и новейшим немецким учением о фортификации. Макиавелли был государственным деятелем, историком, поэтом и, кроме того, первым достойным упоминания воен-

ным писателем нового времени. Лютер вычистил авгиевы конюшни не только церкви, но и немецкого языка, создал современную немецкую прозу и сочинил текст и мелодию того проникнутого уверенностью в победе хора, который стал «Марсельезой» XVI в. Герои того времени не стали ещё рабами разделения труда, ограничивающее, создающее одиозность, влияющие которого мы так часто наблюдаем у их преемников. Но что особенно характерно для них, так это то, что они почти все живут в самой гуще интересов своего времени, принимают живое участие в практической борьбе, становятся на сторону той или иной партии и борются кто словом и пером, кто мечом, а кто и тем и другим вместе. Отсюда та полнота и сила характера, которые делают их цельными людьми...

... И исследование природы совершалось тогда в обстановке всеобщей революции, будучи само насквозь революционно: ведь оно должно было ещё завоевать себе право на существование. Вместе с великими итальянцами,

от которых ведёт своё летоисчисление новая философия, оно дало своих мучеников для костров и темниц инквизиции»¹.

Измутительная характеристика Энгельса ярко рисует историческую обстановку, в которой возникло новое естествознание. Напомним только о великих открытиях

XV и XVI вв. Падение Константинополя (1453) закрыло старые торговые пути и подорвало значение итальянских городов (особенно Венеции) в мировой торговле. Выдвигаются страны Пиренейского полуострова: Португалия и Испания, которые ищут новых торговых путей и источников золота. В поисках морского пути в Индию предпринимаются экспедиции вдоль берегов Африки. Колумб предлагает проект достижения Индии западным путём и в 1492 г. открывает Америку. Через пять лет (1497—1498) португалец Васко да Гама, обогнув Африку, достиг Индии, и наконец, в 1519—1522 гг. Магеллан совершил кругосветное путешествие.

Так были разбиты рамки старого orbis terrarum².

Великие открытия доставили людям массу новых фактов, накопился огромный естественно-научный материал, который предстояло разработать. С другой стороны, практика (и в первую очередь потребности мореплавания и военного дела) властно требовала разработки способов точного определения координат пункта, решения ряда задач баллистики и изобретения подзорной трубы. Всё это и определило характер и глубину научного переворота.

«Главная работа в начавшемся теперь первом периоде развития естествознания заключалась в том, чтобы справиться с имевшимся налицо материалом»³.

Эта центральная задача не могла быть решена в рамках старого теоретического мышления, старого схоластического мировоззрения. Естествознание должно было завоевать право на самостоятельное существование, освободиться от ига теологии. «Отсюда начинается своё летоисчисление освобождение естествознания от теологии, хотя выяснение между ними отдельных взаимных претензий затянулось до наших дней и в иных головах



Магеллан.

¹ Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1952, стр. 4—5.

² Русские люди сыграли важную роль в расширении географического кругозора (см. гл. IX).

³ Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1952, стр. 5.

далеко ещё не завершилось даже и теперь»¹. Естествознание подняло восстание против теологии, и буржуазия, нуждавшаяся в науке, поддержала восстание.

Итак, первая задача новой науки состояла в ниспровержении схоластического мировоззрения и в утверждении нового мировоззрения.

Далее науке предстояло выработать *новые теоретические и методологические основы и программу развития на будущее*. И эти задачи были решены в эпоху великого переворота. Те конкретные задачи, которые относились непосредственно к физике, вытекали, как было уже указано, из потребностей мореплавания и военного дела.

Чрезвычайно важно, например, было во время определить характер приближающегося корабля. Так практика поставила задачу построения подзорной трубы. Развитие военной техники поставило проблему баллистики. Та же практика поставила проблему небесной механики, ибо старая астрономия оказалась не в состоянии справиться с возложенными на неё задачами надёжного и простого описания движения небесных светил. А задача определения астрономических долгот, в свою очередь выдвигала со всей остротой проблему *часов*.

Но не только мореплавание и военное дело выдвигали перед наукой новые задачи. Развитие металлургии и горного дела также стимулировало творческие поиски изобретателей и учёных. В эпоху позднего средневековья в горнорудной промышленности происходит переход к новой энергетической технике — водяному колесу-двигателю и сложному приводу для

передачи энергии от двигателя к приёмникам: насосам, мельницам (рис. 46, 49). Учёный металлург и врач Агрикола (Георг Бауэр, 1494—1555) в своих сочинениях по горному делу описывает эти механизмы и процессы добычи и обработки руды. Не случайно знаменитый английский философ Ф. Бэкон, о котором мы будем говорить позже, писал, что «механические искусства» (так Бэкон называет технику), «как будто восприняв какое-то живительное дуновение, с каждым днём вырастает и совершенствуется».

Таким образом, прогресс техники, мореплавания и военного дела выдвинул перед наукой ряд новых проблем, в первую очередь *проблемы механики и оптики*. И этими научными проблемами определился характер физики периода возникновения новой науки.

Так как в первую очередь необходимо было разобраться в накопленном материале, то отсюда естественно вытекал *аналитический* метод изуче-

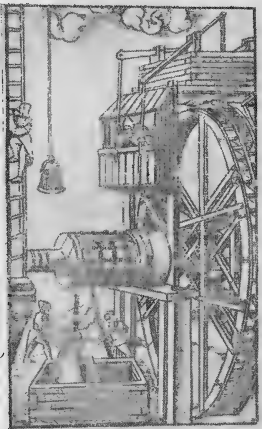


Рис. 46. Подъёмник с водяным колесом.

¹ Ф. Энгельс, *Диалектика природы*, 1952, стр. 7.

ния. Мир расчленился, явления природы разбивались на отдельные, не связанные между собой группы. И хотя у первых теоретиков ещё имеются элементы диалектики (особенно у Декарта и Спинозы), но чем дальше, тем больше выяснялся метафизический характер нового естествознания: «наука всё ещё глубоко увязает в теологии»¹. На смену схоластике пришёл механистический материализм. Корни этого механистического мировоззрения ещё и поныне дают себя знать в физике. В рассматриваемую эпоху этот механистический материализм был прогрессивным явлением, ибо «действительная наука не выходила ещё из рамок механики земной и космической» (Энгельс), однако при дальнейшем развитии физики он стал тормозом научного прогресса, и дальнейшее продвижение может происходить только на базе диалектического материализма.

Возникновение
нового
мировоззрения

Итак, процесс формирования новых общественных отношений не мог не вызвать к жизни новых идеологических течений, идущих на смену средневековой церковно-схоластической идеологии. Великие открытия конца

XV и начала XVI вв. создали не только предпосылки для развития экспериментальной науки, но и явились питательными соками нового миро-



Рис. 47. Полевые орудия XVI в.

воззрения. Если идеи гениального Рожера Бэкона в XIII в. явились на фоне того времени необычными и одиночками, то уже с XV в. необходимость замены схоластического мировоззрения новым, прогрессивным всё более и более проникает в умы передовых людей. Несмотря на жесточайший террор церкви, всё чаще и чаще звучат голоса критиков схоластических учений, всё более и более расчищаются пути к новой науке и новому мировоззрению.

Застрельщицей умственного движения выступила Италия. В XV в. в Италии достигли неслыханной высоты литература и искусство. По одной только справке о количестве книг, напечатанных в неполное первое пяти-

¹ Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1952, стр. 9.

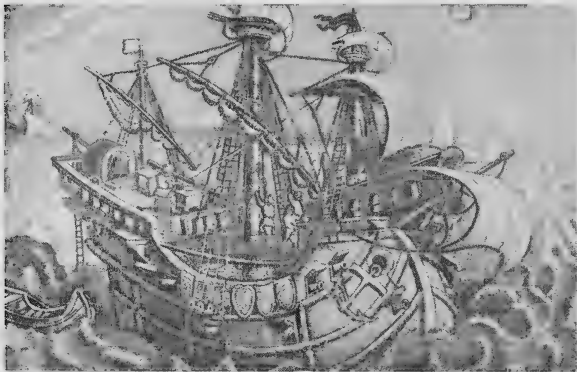


Рис. 48. Определение положения в море при помощи секстанта.

десятилетие от изобретения книгопечатания, можно судить о ведущей роли Италии. Вот эти цифры:

За период с 1470 по 1500 г. вышло книг:

Венция	2835	Нюрнберг	380	Майнц ¹	134
Милан	625	Лейпциг	351	Левентер	169
Болонья	218	Базель	320	Лондон	130
Рим	925	Страсбург	526	Оксфорд	7
Париж	751	Аугсбург	256	Сент-Альбан	4
Кёльн	530	Лювен	116		

Эта справка подтверждает, что «Италия, благодаря своей старинной цивилизации, продолжает стоять во главе» (Энгельс). В дальнейшем, однако, центр научной деятельности переместился в Голландию, обогнавшую в экономическом отношении Италию.

Одним из первых провозвестников нового мировоззрения был сын рыбопромышленника кардинал Николай Кребс из Кузы, более известный под именем Николая Кузанского (1401—1464). Сочинения его вышли в 1515 г., главнейшее из них — трактат «Учёное незнание». За типично средневековыми, тёмными, мистическими фразами в трактатах Кузанского пробивается струя новой мысли.

Известно, что в одном из основных положений схоластического мировоззрения было учение об абсолютной неподвижности Земли и об ограниченности вселенной. Земля полагалась в центре вселенной и со своей атмосферой образовывала так называемый «элементный»¹ мир, в то время как небесные светила составляли неразрушимую, неизменяемую, идеальную

¹ Т. е. составленный из четырёх элементов: огня, воздуха, воды и земли.

«сущность. Задача нового мировоззрения заключалась в том, чтобы разбить учение о противоположности земного и небесного, лишить Землю её преимущественного положения, уравнивать её в правах с другими небесными светилами. А это приближало мысль о единстве всего материального мира, о его неограниченности и, наконец, об относительности движения (отсутствие неподвижного центра).

Вот эти-то идеи в первичной форме и были высказаны Кузанским. Он считает, что Земля и небесные тела построены из одной и той же первоматерии. Далее он считает движение основной всего сущего, и, следовательно, всякое небесное тело, в том числе Земля, движется. Неподвижного центра во вселенной нет, вселенная неограничена. Учение об относительности движения он выражает в следующих словах: «... для нас ясно, что Земля действительно находится в движении, хотя нам этого и не кажется, потому что мы замечаем движение по сравнению с чем-нибудь неподвижным. Потому что, если бы кто-нибудь сидел в лодке посредине реки, не зная, что вода течёт, и не видя берега, то как бы он узнал, что лодка движется? И таким образом, так как всякий, будет ли он находиться на Земле или на Солнце или на другой какой звезде, полагает, что он находится в неподвижном центре, а что всё другое движется, то он назначил бы себе различные полюсы — одни, если бы был на Солнце, другие — на Земле, третьи — на Луне, и так далее. *Потому что машина мира как будто имеет свой центр повсюду, а окружность нигде*». Идеи Кузанского оказали большое влияние на апостола нового мировоззрения Джордано Бруно. Это же влияние чувствуется и в воззрениях Галилея.

Кузанский нанёс удар схоластике и в другом пункте, а именно: в вопросе об опыте, как источнике познания. В сочинении «Диалог о статических опытах» он говорит об огромном значении опыта в познании природы. В сочинении предлагается поставить ряд опытов из области физиологии



Рис. 49. Система насосов в старинном руднике (по Агрикола).



Леонардо да Винчи

человека и растений. Рекомендуются также провести ряд механических опытов, например:

1) измерение времени посредством количества вытекшей воды;

2) измерение времени падения различных тел: дерева, камня, свинцового шара, свинцовой пластинки;

3) измерение притягательной силы магнита с помощью весов;

4) измерение глубины моря по времени всплытия пустого шара. Пустой шар с прикреплённым грузом опускается на дно. В момент соприкосновения груз, вследствие специального устройства механизма, освобождается, и шар всплывает;

5) измерение влажности воздуха с помощью весов, на одной из чашек которых положена сухая и сжатая шерсть. Повышение влажности шерсти влечёт изменение равновесия.

Осуществление этой программы могло бы привести к открытию законов падения прежде Галилея. Кузанский стоит ещё на грани между эпохой схоластики и эпохой возрождения наук.

Знаменитый художник Леонардо да Винчи (1452—1519) полностью принадлежит эпохе Возрождения. Образ Леонардо — яркая иллюстрация к энгельсовской характеристике «титанов по силе мысли, страстности и характеру, по многосторонности и учёности». Леонардо был гениальным художником и архитектором, скульптором и инженером, анатомом и физиком, музыкантом, и математиком. Он строил каналы, разрабатывал проекты летательных аппаратов, выдвинул идею танка («я могу сделать закрытые безопасные и непроницаемые колесницы, которые, врезываясь в ряды неприятелей со своей артиллерией, смогут прорвать их строй, как бы они ни были многочисленны. А следом за ними может двигаться пехота беспрепятственно и не пуская урона», — писал он). Гениальный художник, он изучал научные основы своего искусства; изучал законы перспективы, анатомировал трупы, экспериментировал с красками. Его работы в области механики, физики, техники, оптики, гидродинамики дают основание считать Леонардо крупнейшим учёным.

Светлый и трезвый мыслитель, Леонардо обрушивается на алхимию, астрологию и магию. Алхимиков он называет «лживыми истолкователями природы». О вере в магические заклинания и превращения он отзывался очень резко: «Из всех человеческих мнений безумнейшее есть вера в волшебство, сестру алхимии».

«Духи, говорящие без языка, — говорит он о чудесах магии, — производящие дождь и бури; люди, обращённые в кошек, волков и других животных, тогда как, сказать правду, в скотов обращаются только утверждающие подобные вещи»¹.

Леонардо считает основным источником знания опыт. «Опыт был учителем тех, которые хорошо писали, — говорит он, — во всяком случае он мой учитель». «Мудрость — дочь опыта», — вот девиз Леонардо. По-

¹ Здесь и дальше выписки взяты из книги «История физики» Любимова, т. II, СПб, 1886.

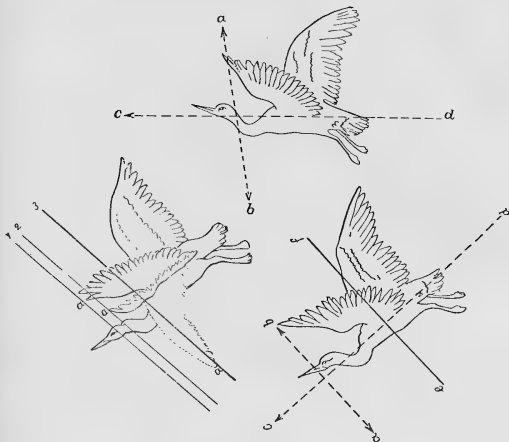


Рис. 50. Рисунки Леонардо да Винчи.

нятно, что он высмеивает схоластов, твердящих об обманчивости чувств и занимающихся бесплодными словопрениями:

«Утверждают, будто зрение препятствует внимательному и тонкому умственному познанию, при помощи которого происходит проникновение в божественные тайны природы и будто препятствие это побудило одного философа лишить себя зрения. На это отвечаю, что *глаз, как владыка чувств, исполняет свой долг, поставляя препятствие тем смутным и обманчивым рассуждениям, — не зову их научными, которые при великом шуме и хлопанье ладош происходят на диспутах.* И если один философ лишил себя глаз, чтобы удалить препятствие к рассуждениям такого порядка, то операция эта, нет сомнения, повлияла на его мозг и рассуждения, так как всё это было безумством». И Леонардо поёт гимн человеческим чувствам, сымпозиируя их в «глазе», являющемся источником познания и искусства:

«Неужели не видишь ты, что глаз объемлет красоту всего мира? Он направляет и исправляет все искусства человеческие, двигает человека в разные части света. Он — начало математики. Способности его несомненнейшие. Он измерил высоту и величину звёзд. Он нашёл элементы и их место. Он породил архитектуру и перспективы, он породил божественную живопись».

Провозвестником новой науки Леонардо является и в своих натурфилософских воззрениях. Движение он считает основой всякого проявления жизни. По его мнению, все такие явления, как звук, свет, теплота, магнетизм, запах, имеют в основе колебательное движение. Вселенная, по Леонардо, не ограничена, и Земля не в центре её. Земля не в середине круга Солнца, не в центре мира, но среди своих элементов, сопровождающих её

и с нею соединённых. Для других светил земля светит так же, как Луна. Противоположности между небесной и земной материей, таким образом, нет. Тяготение не есть прерогатива Земли, каждая планета, каждое светило имеет свою сферу воздействия на окружающие его элементы:

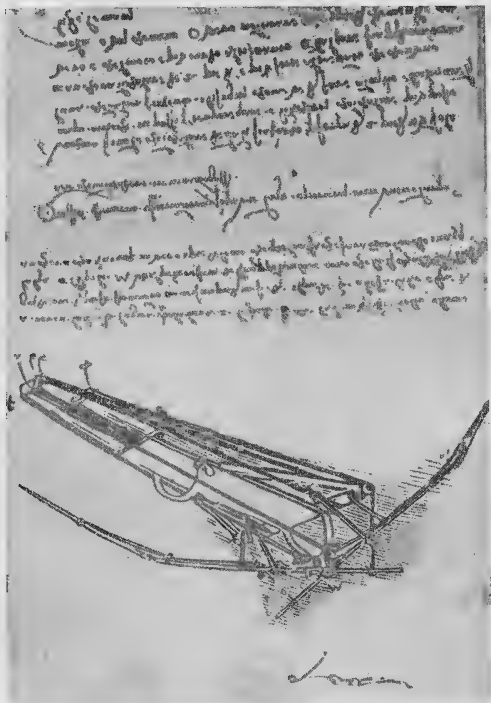


Рис. 50а. Страницка из записи Леонардо.

«Луна плотна. Как плотная, она тяжела, как тяжелая, она не может быть поддержана пространством, какое занимает. Поэтому она должна бы спускаться к центру вселенной, соединиться с Землёю, или, по крайней мере, воды её должны упасть, а она — лишиться блеска. Но таких последствий не бывает: ясное свидетельство, что Луна одета своими элементами —

водою, воздухом и огнём и, таким образом, держится в себе и сама собою в пространстве, точно так же, как наша Земля со своими элементами в другом пространстве».

Итак, вселенная, по Леонардо, разбита на множество не взаимодействующих между собой ячеек миров, окружённых своими элементами. Учение о множестве миров и о единстве материальной природы мира находит нового адепта в лице Леонардо.

Важно отметить, что Леонардо был первым, провозвестившим в новое время тезис об истории Земли. Земля имеет свою историю. Об этом свидетельствуют окаменелости, находящиеся в земной коре.

«Так как вещи древнее письмен, то неудивительно, что не сохранилось никакого письменного документа о том, что многие страны прежде были покрыты морями. Для нас достаточно свидетельства вещей, рождённых в солёной воде и находящихся на высоких горах, теперь удалённых от моря... «Какой ряд переворотов и событий протёк с тех пор, как эта рыба удивительной формы умерла в этих пещерах, с глубокими их изворотами».

Мы видим, что новые идеи носятся в воздухе. Надлежало сделать ещё шаг, чтобы облечь их в точную форму математического описания. И этот шаг сделал Коперник.

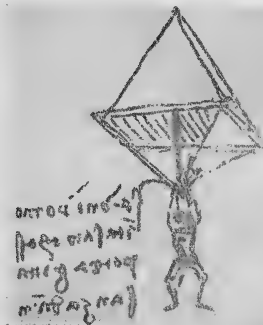


Рис. 506. Проект парашюта Леонардо.

Знаменитый астроном Николай Коперник родился 19 февраля 1478 г. в польском городе Торне (Торунь), рано лишился отца и воспитывался дядей-епископом. 17 лет отроду Коперник приступил к изучению медицины и математики в Кракове, затем он учился в Вене и Болонье, изучая по преимуществу астрономию. В 1497 г. он получает место каноника в Фрауенбурге, а в 1500 г. он читает лекции в Риме. В 1505 г. он возвращается на родину. В качестве каноника Коперник развивает в Фрауенбурге политическую, дипломатическую и экономическую деятельности. В 1507 г. он задумывает своё знаменитое сочинение. Только в 1530 г. он сообщил о нём своим друзьям и то колебался, опубликовать его или нет: «хотя я знаю, — говорит он, — что мысли философа не зависят от мнения толпы, что его цель искать прежде всего истину, насколько бог открыл её человеческому разуму, но тем не менее при мысли, что моя теория может многим показаться нелепой, я долго колебался, не лучше ли отложить обнародование моего труда, и подобно Пифагору, ограничиться одной устной передачей его сущности своим друзьям».

Тем не менее, уступая настояниям друзей, он решил опубликовать свой знаменитый труд «De revolutionibus orbium coelestium» («Об обращении небесных кругов»). Незадолго до его кончины, случившейся 24 мая 1543 г., ему принесли первые печатные экземпляры книги.

«Революционным актом, которым исследование природы заявило о своей независимости и как бы повторило лютеровское сожжение папской буллы, было издание бессмертного творения, в котором Коперник бросил, — хотя и робко и, так сказать, лишь на смертном одре — вызов церковному авторитету в вопросах природы»¹. В таких словах охарактеризовал Энгельс выход сочинения Коперника. Прежде чем перейти к оценке этого сочинения, мы должны указать на следующие обстоятельства.

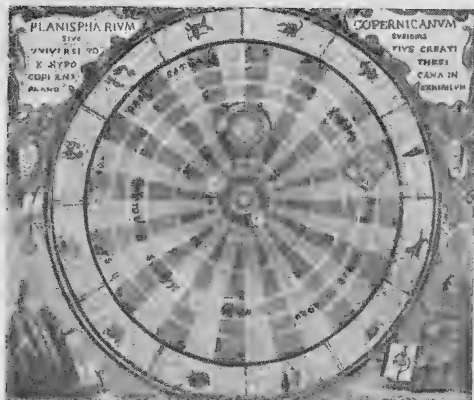


Рис. 51 Изображение мироздания (по Копернику).

Идеи нового носились в воздухе — и даже более радикальные, чем идеи самого Коперника. Об этих идеях вели речь и в салонах итальянских герцогств, и даже в самом Ватикане. Отголосками этих гуманистических идей явились воззрения Кузанского и Леонардо. Но уже в эпоху Леонардо началась полоса жестокой феодальной реакции. «Великим интернациональным центром феодальной системы была римско-католическая церковь, — писал Энгельс. — Прежде чем вступить в борьбу со светским феодализмом в каждой стране в отдельности, необходимо было разрушить эту его центральную священную организацию». Вот почему и сочинения Кузанского, почтительнейше посвящённые кардиналу Юлиану, и спрятанные от людей записи Леонардо да Винчи являются только свидетельством об умонастроениях передовых людей эпохи. Сочинение Коперника знаменовало выход научной мысли на арену открытой борьбы с теологией. Коперник отчётливо сознавал трудности освоения его системы. Это был смелый шаг разрыва с привычным миром идей и представлений. И этот шаг был началом возникновения новой науки. Сочинение Коперника представляет собой по существу опыт кинематического описания движения небесных светил. Динамика оставалась в стороне, и это было одним из слабых мест системы Коперника. Объяснить, почему мы не ощущаем движения Земли, Копер-

¹ Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1952, стр. 5.

ник ещё не может. Загадкой оставалась для него и неизменность направления земной оси, он ввёл для объяснения этого обстоятельства третье движение Земли (кроме суточного вращения и годичного движения по эклиптике). Философские воззрения самого Коперника ещё ограничены. Он, например, не может принять идею неограниченности вселенной и в первой главе своего трактата, озаглавленной «О том, что вселенная сферической формы», говорит: «Во-первых, должны мы принять во внимание, что вселенная имеет сферическую форму, или потому, что эта форма есть совершеннейшая, как всецельная и не представляющая углов; или потому, что из всех фигур это самая вместительная, наиболее, следовательно, приличная, чтобы заключить всё в себе, или также потому, что главнейшие тела вселенной, как Солнце, Луна, звёзды, имеют такую форму; или потому, что все тела стремятся принять такую форму, что можно заметить на каплях воды и других жидких телах, когда они свободно могут принять такую форму. Оттого никто не сомневается, что такая же форма должна быть приписана телам небесным».

Последнее свойство тел Коперник связывает с тяжестью, высказывая о её природе взгляды, сходные со взглядами Леопардо: «Мне кажется, — говорит он, — что тяжесть есть не что иное, как естественное стремление, общённое божественным промыслом всем мировым телам, сливаться в единое и цельное, принимая форму шара. Это стремление к соединению присуще, может быть, и Солнцу, и Луне, и другим подвижным светилам и составляет вероятную причину их шаровидности».

Ограниченная вселенная Коперника имеет громадные размеры: «Величина вселенной столь огромна, что расстояние Земли от Солнца есть величина совершенно незаметная в сравнении со сферою неподвижных звёзд». Коперник считает Солнце неподвижной звездой, центром солнечной системы, вокруг которого обращаются Земля и все остальные планеты. Коперник ещё не может отрешиться от ложного аристотелевского учения о совершенстве кругового движения и заставляет все планеты двигаться по кругам. При этом ему пришлось сохранить эпициклы для объяснения движения отдельных планет (Сатурн). Впоследствии знаменитый астроном Тихо Браге заметил, что круговые орбиты Коперника не вполне точно согласуются с наблюдаемыми орбитами, но определить форму орбит не сумел — это сделал гениальный Кеплер.

При всех своих недостатках система Коперника оставалась революционным актом. Вокруг этой системы развернулась борьба за новое мировоззрение и новую науку. В этой связи очень характерно отношение церкви к выходу в свет книги Коперника.

В момент выхода книги римская католическая церковь уже не безраздельно господствовала в Западной Европе. Протестантское движение, поддерживаемое буржуазией и крупными князьями, боявшимися усиления власти



Николай Коперник.

церковных феодалов, окрепло. Занятая борьбой с своим соперником, католическая церковь не обратила особого внимания на книгу Коперника, посвящую очень специальный характер. Тем не менее книга Коперника вышла в свет с предисловием неизвестного автора, в котором ставится вопрос об отношении содержания книги к догматам религии. Предисловие это называется так: *«К читателю о гипотезах настоящего сочинения»*.

«Не подлежит сомнению, — пишет автор предисловия, — что по причине распространившихся известий о новых гипотезах этого сочинения в некоторых учёных возбуждено сильное неудовольствие на то, что в сочинении этом Земля представляется движущейся, Солнце же, находящимся неподвижно в центре вселенной и что, по их мнению, не следует колебать науку, издавна покоящуюся на истинных основаниях».

Можно подумать, что автор хочет защитить Коперника от неудовольствия тех, кто считает, что наука покоится «на истинных основаниях», т. е. основаниях религии. Но «защита» автора выглядит очень своеобразно.

«Гипотезы его (т. е. Коперника) могут быть и несправедливыми, могут быть даже невероятными; достаточно, если они приводят нас к вычислениям, удовлетворяющим нашим наблюдениям», — пишет он.

Итак, система Коперника не является действительным законом природы, а только гипотезой (предположением), может быть, даже и невероятной, которая вводится только для удобства вычислений.

«Астроном, — продолжает автор предисловия, — прибегает к лучшей и легкой гипотезе. Философ, вероятно, потребует нечто более вероятное, но оба они без божественного откровения не в состоянии что-либо открывать или что-либо нам передавать».

Следовательно, наука не в состоянии открывать действительные законы природы, она может только описывать наблюдаемые явления. Истина же открывается «божественным откровением». На этом основании церковь соглашается допустить науку, сохраняя за собой монополию на обладание «высшей истиной». «Во всём же, что касается гипотез, — заканчивает автор, — да не обращается никто к астроному, если желает узнать что-либо достоверное; сама она не может этого делать, и если кто-либо примет за правду то, что придумано было вследствие иных побуждений, тот через это учение сделается глупее, чем был прежде. Прощай!»

Таким образом, уже в самой книге содержалась «защита» от её смелых идей. Подобно Котсу (о котором будет идти речь в своём месте), написавшему вопиющее антиматериалистическое предисловие к книге Ньютона, неизвестный автор предисловия предостерегает читателя от материалистических выводов из книги. Он объявляет учение Коперника формальной гипотезой, да и самой астрономической науке он предписывает только формально-описательские задачи. Наука не может познать сущность вещей, она может только описывать явления — таков смысл предисловия, открывшего первую страницу многовековой борьбы материалистического естествознания с идеализмом.

Кто же был автор этого предисловия? Только через пятьдесят с лишним лет благодаря великому астроному Кеплеру было разоблачено имя неизвестного блага науки; он оказался протестантским богословом **О с с а н д е р о м**. Протестант не постеснялся написать предисловие к книге католического автора, имея в виду обезвредить для религии учение Коперника. Протестанты раньше старой церкви поняли опасность книги Коперника для веры. Другой известный протестант, глава реформационного движения Мартин Лютер, объявил Коперника дураком, «который хочет перевернуть всё искусство астрономии». Против этого «дурака» Лютер выставляет «неопровержимый» довод: «Но, как указывает священное писание, **Иисус**

Навин велел остановиться Солнцу, а не Земле». Таковы были первые выступления церковников против учения Коперника. На их стороне было всё тёмное и невежественное, на их стороне была вековая привычка, на их стороне была власть над душами верующих. И не скоро нашлись смелые люди, способные выступить против этой силы.

Одним из первых борцов за новое учение был итальянский философ и поэт Джордано Бруно (1550—1600). Жизнь Бруно — это непрерывная цепь скитаний и преследований. Он происходил из города Колы, вблизи Неаполя, вступил в орден доминиканцев, но своими выступлениями против догматов о непорочном зачатии и др. навлек гнев собратий по ордену и вынужден был бежать сначала в Женеvu, затем в Париж. В Париже он выступал публично против перипатетиков, и в результате ему пришлось искать убежища в Англии. В Англии он вновь выступал против Аристотеля и Птолемея, защищая учение о движении Земли. Ему пришлось покинуть Англию. Он снова возвращается в Париж и снова выступает на диспуте. Вторично покинув Париж, он странствует по различным городам Германии. Наконец, он возвращается в Италию, в Падую. В 1592 г. он попал в Венеции в руки инквизиции. Семилетнее заключение и пытки не сломили духа учёного. Он не отказался от своих убеждений и был приговорён к смертной казни по обычной формуле инквизиции: «дабы быть наказанным снисходительнейше и без пролития крови», т. е. быть сожжённым живым. Бруно, выслушав приговор, сказал: «Вы более испытываете страха, произнося мой приговор, чем я, его принимая».



Джордано Бруно.

В этих словах звучит гордая вера мыслителя в правоту своего дела и в его конечную победу. 17 февраля 1600 г. Бруно был сожжён, а через тридцать лет вышли «Диалоги» Галилея, нанёсшие смертельный удар защитникам старого мировоззрения.

Натурфилософские воззрения Бруно предваряют будущие идеи Декарта. Бруно учит о материальности природы, причём не пассивной материальности, как учил Аристотель, а действующей, развивающейся. «Бесконечность форм, под которыми является материя, — говорит он, — она принимает не от чего-либо другого и, так сказать, только внешним образом, но она производит их из самой себя и рождает их из своего лопа...»

«... Природа производит свои предметы не как человеческая техника, посредством отнимания и прибавления, а только посредством разделения и развития».

«... И потому материя не без форм, а скорее она содержит их все; и когда она раскрывает то, что она носит скрыто в себе, она поистине вся природа и мать всех живущих».

С этой основной установкой Бруно гармонизирует и его учение о множественности миров:

«Небо одно, — говорит Филотео, один из собеседников диалога о множественности миров, — неизмеримое пространство, всеобнимающие недра, безграничный эфирный океан, в котором движется и перемещается всё

жизнь имеющее, бесчисленные Солнца и Земли, из коих одни мы чувственно наблюдаем, о других заключаем. Вселенная, таким образом, складается из бесконечного эфирного пространства и бесчисленных в нём движущихся тел. Небо не представляет собою твёрдых хрустальных сводов, в которые подобно гвоздям воткнуты звёзды, но вся эфирная область есть одна неделимая жидкая непрерывность, в которой каждое светило, в силу собственной жизни, свободно вращается вокруг своего центра и вокруг своего Солнца».

Эти миры, обращающиеся вокруг своих Солнц, так же обитаемы, как и солнечная система. Никакого различия между элементной и небесной материей нет¹. Нет неподвижных центров, вся вселенная — это единый, живущий своей внутренней жизнью организм.

Таково вслщствственное учение Бруно. Смело и решительно бросает он вызов затхлому, ограниченному мировоззрению схоластов. Границы материального мира им раздвигаются до бесконечности, система Коперника — это только крохотный уголок в бесчисленном множестве миров Вселенной.

Понятно, что такое учение, в корне разрушающее поповское учение о пространственной и временной конечности мира, заслужило особую ненависть инквизиции, и не только инквизиции, а и церковников всех мастей. Ещё в тридцатых годах девятнадцатого века, через триста с лишним лет после сожжения Бруно, его сочинения, как отмечает Гегель, «вообще редки и часто запрещаются; в Дрездене они ещё и теперь принадлежат к числу запрещенных книг и поэтому их там не показывают».

Так на протяжении столетий огненные мысли Бруно тревожили дух и католиков, и протестантов, и православных. Его сочинения сжигали, уничтожали и скрывали, но никакими преградами нельзя было задержать победоносного шествия нового мировоззрения. Знамя Бруно было подхвачено Галилеем.

**Фізика епохи
возникновения
новой науки.**

Если мы обратимся к рассмотрению конкретных достижений физики эпохи возникновения новой науки (1450—1600), то обнаружим, что основным достижением этой эпохи является освоение античной статики и ее завершение в главе об античной физике, статика древних ещё о наклонной плоскости и равновесии косо́го рычага (рыч. формы). Эти задачи и были решены в рассматриваемую нами эпоху.

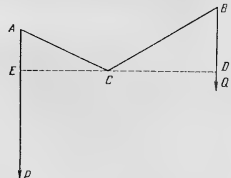


Рис. 52.

Леонардо да Винчи сводит задачу ко-
сого рычага к прямому. Если на рычаг ACB
(рис. 52) действуют по направлениям AP
и BQ грузы P и Q и рычаг остаётся в
равновесии, то в равновесии будет и ры-
чаг ECD , плечи которого перпендикулярны
к направлениям действия грузов ². Закон
равновесия прямого рычага известен.

Леонардо не установил закона равновесия тела на наклонной плоскости. Однако, он установил опытным путём, что время

¹ Отметим, что учение о верховенстве небесной матери над элементарной отвечало общему учению церкви об иерархии на небе, в обществе, в природе. Феодальный порядок осязался учением о «лестнице подчинения». Бруно резко порывает с принципом иерархичности в природе. «Распределение природы по отдельным ступеням есть сон, химера, бредни», — говорит один из собеседников трактата «О множестве миров».

² Его Леонардо называет «потенциальным».

ската по наклонной плоскости во столько раз больше времени прямого падения, во сколько раз длина больше высоты. Ему же принадлежит утверждение, что тело скатывается скорее по дуге окружности, чем по стягивающей её хорде.

Освоение античной статикки особенно продвинулось со времени Коммандино (1509—1575). Он перевёл трактаты Архимеда, Герона, Паппа, Евклида, Аполлония и других. По этим переводам учёные средневековья знакомились с наукой древних, осваивали её и развивали дальше. Именно так поступил ученик Коммандино Гвидо-Убальди, маркиз дель-Монте (1545—1607), имя которого встречается в биографии Галилея. Сам Гвидо-Убальди также занимался переводами. Его трактат по механике вышел в 1577 г. В нём он анализирует статику древних и, не зная об исследованиях Леонардо, выводит закон равновесия косоугольного рычага. Лагранж называет дель-Монте основателем принципа возможных перемещений. Во всяком случае, физика ему обязана введением термина «момент» в том виде, в каком он и доныне удержался в статике. Латинское слово «momentum» означает важный, значительный. Чтобы подчеркнуть, что в равновесии рычага важна не только величина сил, но и их перпендикулярные расстояния от оси («плечо») по современной терминологии, он вводит термин «момент» и формулирует условие равновесия рычага в виде равенства моментов. Исследования Убальди послужили толчком к статическим работам Галилея.

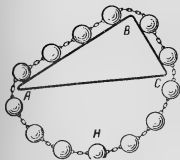


Рис. 54.

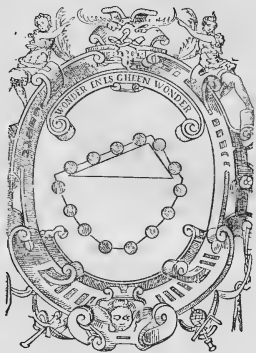


Рис. 53. Титул книги Стевина.

Свое завершение статика нашла в работах голландского учёного Стевина (1548—1620), трактат которого «Начала статики» вышел в 1587 г. Правда, его исследования не оказали прямого и непосредственного влияния на современную ему науку. Галилей занимался статикой, не зная о работах Стевина. Это объяснялось тем, что Стевин писал свои сочинения на голландском языке. Стевин — уже вполне

сложившийся учёный нового типа. К строгости математических рассуждений он прибавляет опытную проверку. Руководящим принципом в его статических работах является принцип невозможности вечного движения. В этом он (хотя и независимо) следует Леонардо, писавшему: «Искатели вечного движения, какое количество пустейших замыслов пустили вы в мир, идите к искателям золота». На титульном листе каждой части трактата Стевина красуется наклонная плоскость, обвитая цепью, с надписью наверху «Чудо и не чудо». Именно таким путём Стевин решил задачу о наклонной плоскости.

Пусть цепь $ABCH$ обвивает треугольник ABC (рис. 54). Если бы сила действующая на тело, лежащее на наклонной плоскости, равнялась весу, то обладающая большим весом часть AB скатывалась бы вниз, перетягивая остальные звенья цепи. Но тогда непрерывно поддерживалось бы существующее положение, и цепь, раз начав двигаться, двигалась бы непрерывно, а это, как думает Стевин, невозможно. Отсюда он заключает, что сила, скатывающая тело с наклонной плоскости, не равна весу, а во столько раз его меньше, во сколько высота плоскости меньше её длины. Этот вывод даёт возможность Стевину формулировать закон геометрического сложения сил, и именно отсюда ведёт своё происхождение обозначение сил стрелками.

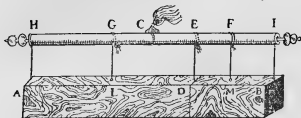


Рис. 55.

Стевин указывает, что если три силы параллельны и пропорциональны сторонам треугольника, то они уравниваются. Вот в каком виде был открыт «параллелограм сил».

Изучая равновесие полиспастов, Стевин сформулировал, для частного случая, принцип возможных перемещений. Равно-

весие между грузом, подвешенным на полиспасте, и силой, его поддерживающей, будет достигнуто тогда, когда груз будет во столько раз больше силы, во сколько раз путь, проходимый поднимающей силой при поднятии груза, больше пути, проходимого грузом.

О работах Стевина по гидростатике будет сказано в VII главе в связи с исследованиями Галилея и Паскаля. Укажем только, что Стевин не только восстановил в правах Архимеда, но и развил учение о равновесии жидкостей дальше, открыв всестороннее давление жидкостей и принцип сообщающихся сосудов.

Чтобы довершить характеристику Стевина, упомянем, что им была сконструирована повозка с парусами (буер), движимая ветром, которая, везя 18 человек, пробежала за два часа четыре голландских мили (около семи километров).

Стевин, открыв закон наклонной плоскости и параллелограм сил, завершил статику. Но, как было уже сказано, его исследования не были известны даже последующим учёным, как например Паскалю. И Галилей в полной мере разделяет со Стевиным приоритет в открытии закона равновесия тела на наклонной плоскости. Его доказательство основано на сведении задачи к закону равновесия косо́го рычага. Мы остановимся здесь только на галилеевом доказательстве закона рычага и его формулировке понятия момента.

Закон рычага Галилей доказывает очень изящно.

Представим, что на невесомой палочке подвешена однородная призма AB (рис. 55). Призма будет в равновесии, если она закреплена в центре C . Разделим призму на две произвольные части $m = AD$ и $n = DB$, веса которых P и Q равны соответственно m и n . Равновесие не нарушается, если каждую из этих частей подвесить соответственно в её середине. Но нетрудно видеть, что G и F — точки приложения весов грузов P и Q — отстоят от точки опоры C на расстояниях, обратно пропорциональных грузам.

Но уже дель-Монте понимал эквивалентность груза и поднимающей его силы. Механика должна была устранить различие между грузом и усилием и абстрагировать общее понятие «силы». Эта абстракция далась не сразу. Отчётливо понятие силы сформулировано Ньютоном. Галилей, по-

нимая, что для вращательного движения (как в случае рычага) важна не только сила, а и её плечо, и желая дать общее понятие, вводит термин «момент».

«Под именем момента, — говорит он, — в механике разумеется та сила, то усилие, то действие, с которым двигатель двигает и движимое сопротивляется; эта сила зависит не только от простой тяжести, но и от скорости движения и от различного наклона путей, по которым совершается движение, потому что тяжесть производит большее действие при спускании по более наклонному пути, чем по менее наклонному».

В пояснение своего определения, Галилей приводит принцип равновесия неравноплечего рычага, сформулированный им в терминах начала возможных перемещений:

«Неравные по абсолютной величине грузы могут взаимно уравновешиваться и приобретать равные моменты всякий раз, когда их вес будет обратно пропорционален скорости их движения, т. е. когда один груз будет во столько же раз легче другого, во сколько раз скорость его движения будет больше скорости другого».

Мы видим, таким образом, что к концу XVI в. не только была освоена античная статика, но, и более того, она начала превращаться в систематическую отрасль естествознания, стали формулироваться общие определения и принципы, пригодные для решения любой статической задачи.

Таков важнейший итог физики переходного периода.

Но физика этого периода не ограничилась только статикой. Практика уже требовала динамики, и ощутую, неуверенно естествознание делало первые шаги в установлении динамических принципов. Переворот в динамике был совершён Галилеем, но уже его предшественники начали штурм аристотелевской динамики.

Повод к первым механическим изысканиям, несомненно, дала баллистика. Изучение траектории вылетевшего снаряда составило предмет изыскания Тарталья и Кардана.

Николай Тарталья (1501—1559) — один из крупнейших математиков переходной эпохи. Ему принадлежит формула решения кубических уравнений (так наз. «формула Кардана», впервые её опубликовавшего, по сведениям, полученным от Тарталья). Тарталья первым начал распутывать аристотелевское учение о естественных и насильственных движениях. Он смог уже обнаружить несостоятельность воззрений перипатетиков в вопросе о траектории снаряда. Перипатетики учили, что траектория снаряда складывается из насильственного прямолинейного горизонтального пути, смешанного кругового и естественного вертикального. Тарталья нашёл, что вся траектория снаряда криволинейная. Правда, он ещё не решается отрицать полностью учения о естественном и насильственном движении и говорит о непрерывном смешивании обоих движений в процессе полёта снаряда. Любопытно, что эта идея о смешивании естественного и насильственного движений приводит его к правильному выводу о том, что наибольшая дальность полёта будет при угле вылета, равном 45° (равновесие между естественным и насильственным движением).

Современник Тарталья Иероним Кардан (1501—1576) интересен прежде всего своей биографией. Это колоритнейшая фигура эпохи. Он характеризует сам себя в следующих выражениях: «Я обладаю от природы философским и способным к наукам умом. Я остроумен, изыщен, приличен, сладострастен, весельчак, благочестив, верен, друг мудрости, мыслящий, предприимчив, любознателен, услужлив, соревнующий, изобретателен, учён своими собственными усилиями, стремлюсь к чудесам, хитёр,

ожесточён, сведущ в тайнах науки, трезв, работящ, меланхоличен, коварен, предатель, колдун, маг, несчастный, не любящий своих, склонен к одиночеству, противен, строг, предсказатель, ревнивец, шутник, клеветник, податливый, пзмечивый, — вот какие во мне противоречья характера и поведения».

Бурная жизнь этого человека знала нищету и роскошь, путешествия и профессорскую кафедру, тюрьму и дворец. Он перенёс чуму и видел казнь своего сына. Сам отрезал в наказание уши другому своему сыну. Сам предсказал себе смерть на семьдесят пятом году и, как говорят, чтобы исполнить предсказание, уморил себя голодом. С именем Кардана в науке связывается, как было уже отмечено, формула Кардана и карданов подвес, имеющий назначением сохранить равновесие тела при любых колебаниях точки опоры.

Кардан производит опыты и критикует физику средневековья: он правильно ставит задачу о равновесии тела на наклонной плоскости, однако не находит верного решения. Короче говоря, в истории науки Кардан характерен, как колоритная фигура эпохи, но существенных результатов в науку он не внёс, хотя и сохранил своё имя в её истории.

Наибольших успехов в деле создания динамики добился Бендетти (1530—1590). Он был первым, учившим, что камень, брошенный горизонтально, движется не насильственно, а в силу

сообщённого импульса или, как он говорил, «впечатления». Он утверждал далее, что «тело, вращаемое пращей, по выбрасывании стремится продолжать движение по прямой линии». Наконец, он говорит об одинаковом падении тел в пустоте. Как видим, Бендетти наиболее близко подошёл к открытиям, обессмертившим имя Галилея.

Наряду с механикой развивалась и оптика. Значительный вклад в оптику внёс Леонардо, впервые установивший, что глаз принципиально схож с камер-обскурой. Он же объяснил стереоскопичность зрения видением двумя глазами. Ему же принадлежат первые идеи о волновом движении, и он был первым, наблюдавшим стоячие водяные волны. Попутно укажем, что первое упоминание о капиллярных явлениях принадлежит Леонардо.

Камер-обскура вообще в описываемую эпоху стала распространённым физическим прибором. Принципом камеры Мавролик¹ (1494—1575) объяснил круглые пятна на тенистой дорожке. Порта (1538—

¹ Мавролику принадлежит объяснение действия очков, основанное на понимании роли хрусталика как собирающей линзы. Очки исправляют дефекты фокусирующего действия хрусталика.

1615) в своей «Натуральной магии» не только подробно описывает опыты с камер-обскурой, но и указывает, что её действие улучшается применением чечевицы. «Теперь сообщу Вам то, о чём доселе молчал и думал, что должен молчать. Если поместить у отверстия чечевицеобразное стекло, то всё изображение будет отчётливее; увидишь и лица людей проходящих, платья, цвета, движение, всё как будто было вблизи. Зрелище так приятно, что видевшие не могли вдоволь надивиться». Поясним, что камер-обскура Порты была комнатой с окнами, закрытыми ставнями.

Говоря о Порте, необходимо упомянуть об одном важном обстоятельстве, характерном для периода возникновения новой науки. Порта не удовлетворился собственными изысканиями (правда, часто носившими полусерьезный характер), а организовал научное общество «Академия тайн природы». Новая наука, выходя из рамок казённой схоластики, ищет новых организационных форм. Университеты — цитадель официальной науки — не могут быть центрами новой науки, организуются научные кружки, общества, так называемые «академии». Таково было общество в Милане, связанное с Леонардо да Винчи, такова была академия Телезия (1508—1588), организованная для борьбы с натурфилософией Аристотеля. Такова была и академия Порты. Церковь преследовала эти ячейки новой мысли в самом зародыше. Академии Телезия и Порты были закрыты. Но уже во второй половине семнадцатого века академии стали прочными научными центрами.

Мы не будем останавливаться на других сторонах развития новой науки. В качестве общего вывода сформулируем:

Новые задачи, вызванные жизнью, породили новое естествознание. В течение полутора столетий (вторая половина пятнадцатого века и шестнадцатый век) происходит процесс формирования новых идей. В напряжённой борьбе с реакционными силами старой идеологии выковывается новое естествознание. Решительное наступление буржуазии, предпринятое в семнадцатом веке, обеспечивает победу новой науки.

Таким образом, семнадцатый век является периодом упрочения нового мировоззрения и новой науки. Этот период открывается Галилеем и заканчивается Ньютоном.

ГАЛИЛЕЙ И ЕГО БОРЬБА ЗА НОВОЕ МИРОВОЗЗРЕНИЕ

Первоочередной задачей деятелей новой пауки была борьба со старым мировоззрением и утверждение нового. В утверждении этого нового решающую роль сыграла героическая борьба Галилея за новое мировоззрение. Изложение хода этой великой борьбы и составляет содержание настоящей главы.

Первые шаги. Г а л и л е й родился 15 февраля (по старому стилю) 1564 г. в г. Пизе. Год рождения Галилея — год смерти Микель Анджело, год рождения Вильяма Шекспира. Отец Галилея был небогатый дворянин, музыкант и математик. И сам Галилей впоследствии был знатоком и ценителем музыки. Как отмечает первый биограф Галилея, его ученик Вивияни, ещё с детства Галилей обнаруживал свои экспериментаторские способности. Он мастерил своими руками механические игрушки, конструировал действующие модели машин, мельниц, кораблей. Повидимому, с детства у Галилея развились необыкновенная наблюдательность и любознательность. Учился Галилей сначала в монастырской школе, затем в университете в Пизе (родители его в это время жили во Флоренции). Отец предполагал сделать из сына врача и определил его на медицинский факультет. Но, слушая случайно лекции профессора математики Риччи и читая Евклида и Архимеда, Галилей обнаружил исключительный интерес и способности к математическим наукам. Отзыв Риччи о способностях юного математика и просьбы сына привели к тому, что отец согласился перевести Галилея на философский факультет, где Галилей изучает математику и философию. Уже в студенческие годы Галилей делает открытие большой паучьей и практической важности — открывает закон изохронности колебаний маятника. По рассказу Вивияни, открытие закона произошло при следующих обстоятельствах:

«Благодаря остроте своего ума он изобрёл простейший и верный способ измерения времени с помощью маятника, никем прежде не усмотренный. Для сего воспользовался случайным наблюдением качаний люстры, когда находился в Пизанском соборе, сделал точный опыт, убедился в равной продолжительности колебаний, и ему тогда же пришла мысль приспособить маятник в медицине для измерения биения пульса, к удивлению и восторгу врачей, и в том виде, как это и ныне употребляется. Этим открытием он потом пользовался во многих опытах для измерения времени и движений и первый применил его к наблюдению небесных тел, чем достиг небывалых результатов в астрономии и географии»¹.

Как видим, в истории первого открытия Галилея резко проявились черты, характеризующие его как учёного нового типа. Проявилась наблюдательность Галилея, от которой не ускользали, казалось бы, незначитель-

¹ Здесь и дальше выдержки приводятся из книги Л ю б и м о в а, «История физики», т. III

ные и тривиальные явления, проявилось далее умение делать научные обобщения из опыта и, наконец, оценка практической значимости полученных результатов. Обо всём этом свидетельствует рассказ Вивiani, который он заканчивает следующими словами:

«Отсюда он (Галилей) вывел, что явления природы, как бы незначительны, как бы во всех отношениях маловажны ни казались, не должны быть презираемы философом, но все должны быть в одинаковой мере почитаемы. Природа, — имел он обыкновение говорить, — достигает большого малыми средствами и все её проявления одинаково удивительны»¹.

Экспериментальные дарования Галилея обнаружились и в сконструированных им гидростатических весах, описанных в сочинении «La Bilancetta», 1586 г. Способности Галилея замечаются. Молодой учёный заводит связи с влиятельными лицами: в 1587 г. он едет в Рим, где знакомится, между прочим, с Гвидо-Убальди, маркизом дель-Монте. По протекции последнего он получает место профессора в Пизанском университете с наимизшим окладом. Читая лекции по философии и математике, молодой учёный скоро убедился в несостоятельности воззрений перипатетиков. Опытами с падением тел он обнаружил неправильность утверждения Аристотеля о пропорциональности скорости падения весу тел. Его выступления против Аристотеля вызвали раздражение у представителей казённой схоластической науки. Началась травля молодого учёного. Материальная необеспеченность вынудила Галилея принять предложение правительства Венецианской республики и перейти на работу в университет в Падую в 1592 г. В Падуде полностью развернулись блестящие дарования Галилея. Здесь сформировалось его научное мировоззрение и здесь же сложился план борьбы за укрепление позиций новой науки.

В Падуде Галилей устанавливает законы динамики, изобретает термоскоп, изобретает трубу и обогащает астрономическую науку новыми открытиями. Здесь же он разрабатывает физическую и философскую аргументацию в пользу системы Коперника. Можно с уверенностью сказать, что центральной задачей Галилея являлась задача создания такой аргументации, задача физического обоснования системы. Этой центральной задаче, по существу, была подчинена вся остальная деятельность Галилея. Но борьба за систему Коперника являлась борьбой за новое мировоззрение, борьбой с реакционной церковно-схоластической идеологией. Галилей



Галилео Галилей.

¹ Рассказ Вивiani по новейшим исследованиям (Вольвиль) подвергается сомнению. Несомненно, однако, то, что закон изохронности маятника был установлен Галилеем и им же применён для медицинских целей («pulsilogium» описан Санторпсом в 1603 г.). Незадолго до смерти Галилея, Вивiani, по указанию его, изготовил чертёж часов с маятником, и, таким образом, имеются все основания считать приоритет изобретения маятниковых часов за Галилеем. Мы приводим, здесь рассказ Вивiani потому, что он документально рисует облик Галилея как учёного нового типа.

отчётливо сознавал все трудности этой борьбы и понимал, что эта борьба должна быть подготовлена и научно и организационно весьма тщательно, чтобы обеспечить успех дела. И Галилей, находясь в Венецианской республике, не забывает о Флоренции, устанавливая связи с руководящими людьми и с влиятельными передовыми флорентинцами, такими, как Сальвиати¹. Первый шаг заключался в необходимости рассеять неблагоприятное впечатление о системе Коперника у этих ведущих людей. Система



Рис. 56а. Титул книги Галилея.

Коперника в основе своей была чисто кинематической системой, вопросы динамики Коперник не ставил. Эта система, казалось, находилась в таком вопиющем противоречии с обычным житейским мышлением, что даже передовые люди того времени не считали возможным принимать её всерьёз².

Преимущества этой системы были ясны только специалисту астроному, а специалист же усматривал в теории только фантастическую гипотезу. В «Диалоге» Галилея венецианец Сагредо рассказывает, как он познакомился с системой Коперника.

«Я был ещё очень юн и только что прошёл курс философии, когда в эту страну прибыл один северный учёный из Востока, Христиан Вурстейсс, приверженец коперниковой системы. В одной из академий он прочитал две или три лекции об этом предмете при большом стечении слушателей. Я не был, так как думал, что такое воззрение слишком бессмысленно (подчёркнуто всюду мной. — П. К.). Когда потом я спрашивал неко-

торых из присутствовавших, все смеялись, исключая одного, который сказал мне, что дело никак не подлежит осмеянию. А так как я знал его за человека умного и осторожного, то стал жалеть, зачем не был сам. С тех пор я начал, как только мне попадался приверженец Коперника, спрашивать, всегда ли он был таким. Не встретил ни одного, который бы не сказал мне, что прежде долго был противоположного мнения».

¹ Филипп Сальвиати (1538—1614) — знатный флорентинец, друг Галилея, увлекательный по вместе с (также другом) Франциском Сагредо (1571—1620) в знаменитых сочинениях: «Диалог о двух системах мира» и «Беседы о двух новых науках».

² Приведём, например, отзыв Фр. Бэкона о системе Коперника: «Система Коперника представляет много серьёзных затруднений: тройное движение Земли есть большое неудобство, а отделение Солнца от планет, с которыми оно имеет так много общего, есть также опрометчивый шаг, и введение стольких неподвижных тел в природу, и притом тел наиболее светящихся, как Солнце и звёзды, и обращения Луны вокруг Земли, и некоторые другие понятия обнаруживают в Копернике человека, который не задумывается внести в природу все возможные вымыслы, заботясь только о том, чтобы его вычисления вышли верно».

и переменил его только потому, что убедился доводами. Я испытывал, насколько знаком он с доказательствами противников, и убеждался, что они ему вполне известны. Напротив, сколько ни случалось мне спрашивать перипатетика или птоломеевца — из любопытства я многих спрашивал, — изучал ли он систему Коперника, постоянно находил, что знакомство с нею было самое поверхностное, и ни одного не встретил, который бы её понимал. Не встретил также ни одного приверженца Аристотеля и Птолемея, который был бы прежде коперниканцем и потом перешёл к Аристотелю».

Как видим, в подавляющем большинстве учёных того времени система Коперника не находила поддержки. Нужна была основательная аргументация в защиту этой системы. Галилей ясно представлял положение вещей. В письме к Кеплеру от 1597 г. он пишет:

«К мнению Коперника я пришел много лет перед сим и, исходя из него, нашёл причины многих естественных явлений, далеко не объяснимых помощью обычных гипотез. Написал многие соображения и опровержения противных аргументов, которые, впрочем, пустить в свет не решился, устрешённый судьбою учителя нашего Коперника. У немногих стяжал он бессмертную славу и бесчисленным множеством — ибо таково число глупцов — осмеян и освистан».

Но, занимаясь в Падуе главным образом вопросами прикладной математики и механики, Галилей не оставляет случая выступить против космогонических представлений перипатетиков. Так, появление новой звезды в созвездии Змееносца в 1604 г. дало ему повод выступить против учения о неизменности небес. Эти выступления Галилея озлобляли его противников, и Галилей стал считаться неблагонадежным у представителей церковной науки. За ним начали следить, и, в частности, его переписка с Кеплером — протестантом — считалась одним из доказательств его неблагонадежности.

Изобретение
трубы. Новые
астрономические
открытия.

В 1608 г. голландец Липперсгей подал заявку на выдачу ему патента на зрительную трубу. Право на приоритет изобретения оспаривали трое лиц из Голландии (З. Янсен, Я. Мециус и Г. Липперсгей). Весть о трубе стала распространяться с большой быстротой; всё это свидетельствовало об актуальности изобретения. Галилей, услышав в 1609 г. об изобретении, стал размышлять над возможным устройством трубы и самостоятельно изготовил трубу, посящую в настоящее время название трубы Галилея и используемую в биноклях. Объектив трубы — выпуклая линза, окуляр — вогнутая. Галилей старался всячески усовершенствовать свою трубу, добиваясь большего увеличения. Но его главной бессмертной заслугой остаётся то, что он первым направил трубу на небо. Это не было случайным любопытством. Нет, Галилей, несомненно, искал на небе новых фактов, подтверждающих систему Коперника и опровергающих представление перипатетиков. Недаром, когда от его лица Сальвиати позднее в своих «Диалогах» рассказывает о новых астрономических открытиях, то один из собеседников, Сагредо, восклицает:

«О Николай Коперник! Как обрадовался бы Ты, видя, как подтверждена этими ясными фактами твоя истина!».

Действительность оправдала ожидания Галилея и даже превзошла их. Им было обнаружено множество новых звёзд, не видимых невооружённым взглядом, было доказано, что Млечный Путь состоит из большого скопления мельчайших звёзд. Телескоп открыл на Луне существование гор и впадин, и, наконец, Галилей увидел на небе воочию прообраз системы Коперника — четырёх спутников Юпитера, обращающихся вокруг него, как и Луна вокруг Земли. Знаменитое это открытие было сделано

7 января 1610 г. с трубой с 30-кратным увеличением. Вот как Галилей рассказывает об этом открытии:

«7 января 1610 г., в первом часу ночи, наблюдая небесные светила, я, между прочим, направил на Юпитер мою трубу и, благодаря её совершенству, увидел недалеко от планеты три маленьких блестящих звёздочки, которых прежде не замечал вслед-

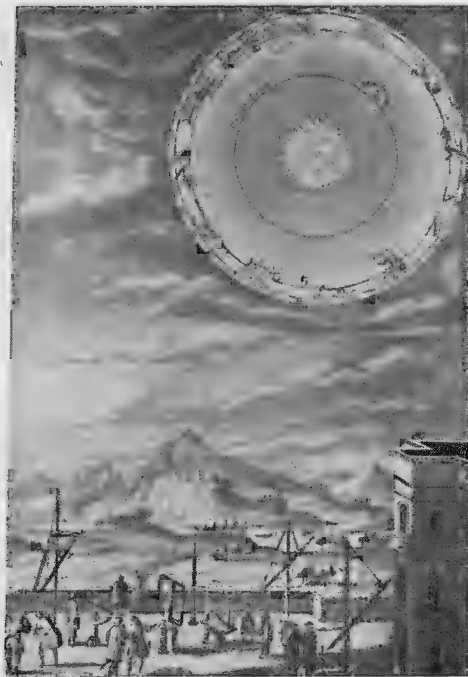


Рис. 57. Обсерватория начала XVIII в. Вверху изображены Юпитер, его орбита и спутники.

ствие слабого увеличения бывшей в то время у меня трубы. Эти светлые точки были приняты мною за неподвижные звёзды, они обратили на себя моё внимание только потому, что все три находились на совершенно прямой линии, параллельной эклип- тике, и были несколько ярче звёзд одинаковой с ними величины. Расположение их относительно Юпитера было следующее: две находились на восточной стороне планеты, третья же на западной. Крайняя восточная звёздочка и западная казались немного

большими третьей. Я тогда не определял точным образом их взаимных расстояний, ибо, как сказано, они были сочтены мною за неподвижные звёзды.

Через восемь дней ведомый не знаю какую судьбою, я опять направил трубу на Юпитер и увидел, что расположение звёздочек значительно изменилось: именно все три помещались на западе от планеты и ближе одна к другой, чем в предшествовавшее наблюдение. Они попрежнему стояли на прямой линии, но уже были разделены между собою равными промежутками. Хотя я был далёк от мысли приписать это собственному движению звёздочек, но тем не менее сомневался, чтобы такое изменение в их положении могло произойти от перемещения Юпитера, за несколько дней паходившего на западе от двух звёздочек. С величайшим нетерпением ожидал я следующей ночи, чтобы рассеять свои сомнения, но был обманут в своих ожиданиях; небо в эту ночь было со всех сторон покрыто облаками. На десятый день я снова увидел звёздочки...

Галилей описывает далее новое расположение звёздочек и дальнейшие над ними наблюдения; число звёздочек оказалось равным четырём.

«Вследствие всего этого я уже без малейшего колебания решил, что существуют четыре светила, вращающиеся около Юпитера, подобно тому как Венера или Меркурий вращаются вокруг Солнца. Ныне имеем очевидный аргумент, чтобы рассеять сомнения тех, кои, склоняясь допустить, что планеты обращаются вокруг Солнца, смущаются, однако, каким образом Луна несётся вокруг Земли и в то же время вместе с нею совершает годичный круг около Солнца... Мы знаем теперь, что есть планеты, обращающиеся одна около другой и в то же время вместе несущиеся вокруг Солнца; мы знаем, что и около Юпитера движутся и не одна, но четыре луны, следующие, за ним во всё продолжение его двенадцатилетнего обращения около Солнца».

В этом замечательном рассказе живо чувствуются переживания Галилея, сделавшего небывалое открытие. Галилей уже неоднократно смотрел на небо, смотрел и на Юпитера, уже сделал ряд замечательных открытий, но он не успокаивается. Он снова и снова совершенствует трубу и снова направляет на Юпитер. Он видит новые звёздочки. Он ещё не думает, что это луны Юпитера, но как точно фиксирует их сравнительную величину и расположение. Это не было мимолётным наблюдением, он настолько хорошо зафиксировал расположение, что через 8 дней сразу замечает изменение его. Он ещё не верит, что это луны, но, охваченный творческим порывом, уже чувствует, что имеет дело с новым фактом: это не результат простого перемещения Юпитера. Начинаются тщательные наблюдения и изучение нового факта. Сопоставляя результаты отдельных наблюдений, теоретически обобщая их, Галилей приходит к смелому выводу: это спутники Юпитера. Он сразу оценивает значимость этого открытия для системы Коперника. Ведь он сам, руководясь системой Коперника, сумел не только не пройти мимо группы звёздочек, одной из многих новых групп, открытых им, но и получить совершенно новый астрономический результат. Понятен восторг Галилея, понятно и то, что он сообщению о своих новых астрономических открытиях, вышедшему в 1610 г., придал величавое заглавие: «Звёздный вестник».

SIDEREVS, NVNCIVS

MAGNA, LONGEQUE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, fulspiciendaque: propo-
nens unicuique, praefertim vero

PHILOSOPHIS, atq. ASTRONOMIS, quae

GALILEO GALILEO PA.

TRITIO FLORENTINO

Patanini Gymnasii Publico

Mathematico

PERSPICILLI

Nuper a se reperti beneficio sunt obstricta in LVNÆ FA-
CIB, FIXIS INNUMERIS, LACTEO CIRCULO
STELLIS NEBVLOSIS,

Apprimè vero in

QVATVOR PLANETIS

Circa IOVIS Stellarum disparibus intervalis, atq. periodis,
ceditate mirabili circumvolutus, quos, nemini in hac vlti-
dem cognitos, novissime Auctor depre-
hendit primus, atque

MEDICEA SIDERA

NVNCVPANDOS DECREVIT.



M. D.

C. X

Prostat Francofini Palhemano.

Рис. 58. Титул «Звёздного вестника».

Результаты новых открытий. Начало открытой борьбы Галилея за новое мировоззрение.

Этой книгой Галилей начинает свою борьбу за легализацию и пропаганду системы Коперника. Он посвящает её новому Тосканскому герцогу, бывшему своему ученику Козимо II Медичи. Галилей хочет привлечь его на свою сторону и действительно, герцог Тосканский приглашает его во Флоренцию, и Галилей возвращается на родину¹. Его открытия вызывают восхищение у одних и явное недоброжелательство у других представителей казённой науки.

Эти последние заявляли, что новые открытия — обман зрения, обусловленный применением трубы. Галилей слишком хорошо знает цену такой аргументации, чтобы придавать ей какой-либо вес, и в письме Кеплеру говорит:

«Посмеюсь, мой Кеплер, великой глупости людской. Что сказать о первых философских здешней гимназии, которые с каким-то упорством аспидов, несмотря на тысячекратное приглашение, не хотели даже взглянуть ни на планеты, ни на Луну, ни на телескоп. Постыже, как у того пет ушей, так и у этих глаза закрыты для света истины. Замечательно, но меня не дивит. Этот род людей думает, что философия какая-то книга, как «Энеида» или «Одиссея», истину же надо искать не в мире, не в природе, а в сличении текстов. Почему не могу посмеяться вместе с тобой? Как громко расхохотался бы ты, если бы слышал, что толковал против меня в присутствии великого герцога Пизанского первый учёный здешней гимназии, как усиливался он логическими аргументами как бы магическими прельщениями отозвать и удалить с неба новые планеты».

DISCORSO
AL SERENISSIMO
DON COSIMO II.
GRAN DVCA DI TOSCANA

Intorno alle cose, che Stanno in sù l'acqua, ò che
in quella si muouono,

DI GALILEO GALILEI,

Filosofo, e Matematico della Medesima
ALTEZZA SERENISSIMA



IN FIRENZE.

Appresso Cosimo Giunti. MDCXII.

Con licenza de' Superiori.

Рис. 59. Титул «Рассуждения о плавающих телах».

и спутников Сатурна. Сила этих новых фактов была настолько велика, что число приверженцев новой системы «галилеистов» сильно увеличилось, и Галилей рассчитывал, что, несмотря на противодействие иезуитов, ему удастся добиться благоприятного отношения к новому учению в римской курии, и в 1611 г. предпринимает поездку в Рим.

Эта поездка с внешней стороны была триумфом Галилея. Его принимали высокопоставленные лица. Князь Чези, основатель так называемой «академии рысьеглазых» (Academia dei Lyncei), сделал Галилея членом этой академии, имевшей своей целью содействие искусству и науке, и в дальнейшем покровительствовал Галилею. Даже кардиналы Беллармини (генерал-инквизитор), Барберини (будущий папа Урбан VIII) отнеслись к Галилею благосклонно. Благосклонно отнёсся и сам папа Павел V. Галилей

¹ Стремление Галилея вернуться во Флоренцию (за которое его не раз упрекали друзья-венецианцы) было не случайным. Возвращение во Флоренцию входило в план задуманной им борьбы. В письме к Тосканскому герцогу от 1610 г. он так формулирует свои цели: «Я желал бы получить свободу и покой, которые мне необходимы для того, чтобы, прежде чем раскроется передо мною могила, окончить и напечатать три больших труда, находящихся в моем портфеле». Эту цель Галилея необходимо иметь в виду при обсуждении его поведения на процессе.

уехал из Рима в полном убеждении, что успех дела обеспечен. Однако за этой благосклонностью отцов церкви скрывалось глубокое недоверие к Галилею. Не смея ещё открыто выступить против Галилея, заручившегося могущественной поддержкой влиятельных кругов, первоклассного учёного и блестящего полемиста, они решили втайне подготовить контрнаступление. Уже в этот период в протоколах инквизиции появляется имя Галилея и начинается секретная слежка за его деятельностью.

Возвратившись из Рима, Галилей с новой силой продолжает борьбу за новое мировоззрение, за право науки быть свободной от всяческих авторитетов. В 1612 г. он выпускает «Рассуждение о плавающих телах», направленное против учения перипатетиков о влиянии формы на плавание тел. Здесь, между прочим, он так формулирует цель сочинения:

«Я и решился написать настоящее рассуждение, в котором надеюсь показать, что я часто расхожусь с Аристотелем во взглядах не по прихоти и не потому, что я не читал или не понял, но в силу убедительных доказательств. Сам Аристотель научил меня удовлетворять свой разум только тем, в чём убеждают меня рассуждения, а не только авторитет учителя; совершенно правильно изречение Алкиноя, что философствование хочет быть свободным».

При этом Галилей, как учёный нового типа, подчёркивает огромное значение правильных теоретических соображений для практики¹. Он продолжает в приведённом выше месте следующим образом:

«По моему мнению, правильное разрешение вопроса, зависят ли от формы предметов то, что одни из них погружаются в воду, а другие нет, было бы бесполезно и для постройки мостов или иных сооружений над водами».

В начале сочинения Галилей указывает на своё намерение продолжать исследования спутников Юпитера на основе уточнённого им метода определения угловых расстояний светил.

«Эти наблюдения, — говорит Галилей, — должны будут иметь большое значение для наших познаний о движении этих планет, размерах их орбит и некоторых вытекающих отсюда следствиях».

Сообщая далее об открытых им пятнах на Солнце и о том, какова природа этих пятен: обусловлены ли они изменениями на поверхности Солнца или прохождением вокруг Солнца тёмных светил, Галилей высказывает следующее смелое утверждение:

«Продолжительные наблюдения в конце концов убедили меня, что эти пятна суть вещество, связанное с поверхностью солнечного тела; они то появляются на ней в большом количестве, то распыляются, одни быстрее, другие — медленнее, перемежаясь вместе с обращением Солнца вокруг своей оси, что совершается приблизительно в один лунный месяц, — явление, величественное само по себе и ещё более важное по своим последствиям».

Другими словами, Галилей усматривает в явлениях солнечных пятен изменения на самом Солнце, доказывающие вдобавок обращение Солнца вокруг своей оси. Этот вывод стоял в резком противоречии с учением перипатетиков о неизменности небесной материи и о неподвижности светил на хрустальных небесных сферах. Признавая собственное вращение Солнца,

¹ Связь с практикой вообще характерна для Галилея. Он неоднократно подчёркивал значение практики для теории и теории для практики. Так, например, он начинает знаменитую книгу «Discorsi» следующими словами: «С а л ь в и а т и. Обширное поле для размышления, думается мне, даёт пытливым умам постоянная деятельность Вашего знаменитого арсенала, синьоры венецианцы, особенно в области, касающейся механики...» (Г а л и л е й, Сочинения, т. 1, стр. 47).

Галилей шёл дальше Коперника и восходил к учению Джордано Бруно о множественности миров, учению, осуждённому церковью. Правда, признание собственного вращения Солнца вокруг оси было только первым шагом на этом пути. Ещё можно было говорить о неподвижности центра Солнца. Но, сделав первый шаг, Галилей на нём не остановился, как мы увидим это в дальнейшем. Он стал сторонником учения Кузанского — Бруно, отвергающего наличие какого бы то ни было неподвижного центра в мире.

Пока мы ограничимся лишь сделанными выдержками из сочинения и указанием на то, что в этом сочинении Галилей выступает не только с новыми философскими и космологическими воззрениями, но и как основатель экспериментального и математического метода в естественных науках.

В 1613 г. Галилей публикует «Сообщение и рассуждения, относящиеся к солнечным пятнам и их свойствам, содержащиеся в трёх письмах, написанных Марку Вельзеру».

Письма эти Вельзеру были написаны в связи с тем, что иезуит Шейнер, наблюдавший солнечные пятна, выпустил о них книгу в 1612 г. Шейнер высказывает в этой книге, также опубликованной в виде писем к Вельзеру, гипотезу, что пятна не принадлежат Солнцу, а обусловлены движениями тёмных тел. Помимо этого, Шейнер высказывает ряд замечаний об астрономических открытиях Галилея, не называя последнего. Шейнер выступал как противник Галилея. Всё это побудило Галилея опубликовать переписку с Вельзером в связи с книгой Шейнера. В письмах Галилей сообщает об открытии фаз Венеры и о значении этого открытия для системы Коперника: «Всё это, — пишет Галилей о фазах Венеры, — должно для каждого исключить всякую возможность сомнения в вопросе о том, как происходит обращение Венеры, и с абсолютной необходимостью ведёт к заключению, что, согласно с положениями пифагорейцев и Коперника, она обращается около Солнца, вокруг которого, как около центра их вращения, движутся и все другие планеты».

В вопросе же о происхождении пятен Галилей критикует теорию Шейнера и защищает свою теорию о принадлежности пятен самому Солнцу.

Выступление
церковников.
Перенос спора на
теологическую
почву.

Блестящая научная аргументация Галилея в пользу нового мировоззрения, усиливающееся влияние его сторонников среди знатных людей и даже среди духовных лиц вызвали озлобление церковников. Уже в конце 1611 г. у флорентинского архиепископа созывается совещание попов и монахов по вопросу борьбы с новым учением. Против галилеевского «Звёздного вестника» выступил в том же 1611 г. Лодовико Коломбо, аргументируя против учения о движении Земли доводами от «писания». Не ограничиваясь посылкой рукописи Галилею, Коломбо пишет письмо астроному Римской коллегии Клаввио с просьбой ввязать Галилея в дискуссию. В начале 1612 г. против Галилея печатно выступает римский профессор Лагалла. Галилей не оставляет в переписке со своими сторонниками этих вынадов без ответа и показывает ничтожество научно-философской аргументации своих противников. В октябре 1612 г. выступает с проповедью против Галилея доминиканец Лорини, впоследствии доносчик на Галилея. На протесты Галилея Лорини, трусливый и злобный клеветник, отвечает письмом к нему, в котором отрицает факт выступления, однако признаёт:

«Я сказал, как говорю и теперь, что это мнение Иеронима, или как там угодно его назвать, кажется мне противным священному писанию». — «Этот возражатель. — негодует Галилей в письме к Чези, — оказывается так знаком с учением, что зовёт его творца Иеронимом. Видите, где и кем оскорбляется философия».

Однако церковники продолжают наступление. Разговоры о несовместимости учения Коперника со священным писанием проликают и в те круги, на расположение которых рассчитывал Галилей. В письме от 14 декабря 1613 г. ученик Галилея Кастелли, назначенный профессором в Пизанский университет, сообщает ему, что у герцога Тосканского профессор-перипатетик Боскалья поднял вопрос о несовместимости галилеевых открытий с священным писанием. Кастелли был вынужден вступить в спор. Ему возражала герцогиня-мать.

Письмо Галилея Кастелли. Галилей оценил серьёзность сообщения Кастелли. Стало совершенно очевидно, что церковники, не будучи в состоянии разбить научную аргументацию Галилея, переносят спор на богословскую почву и ведут агитацию в покровительствующих Галилею кругах против нового учения. Галилей принимает вызов и в ответном письме Кастелли развивает тактику приверженцев нового учения в теологических спорах. Опираясь от теории о двух истинах, Галилей говорит:

«И священное писание и природа происходят от того же божественного слова, первое, как внушение святого духа, вторая — как исполнительница божественных велений. А так как признано, что библия, дабы пригласить к пониманию толпы, высказывает многое такое, что по видимости, при буквальном понимании слов, отступает от абсолютной истины, тогда как, с другой стороны, природа действует неутомимо, неизменно, не озабочиваясь тем, доступны или недоступны её скрытые причины и способы действия человеческому пониманию, то, кажется мне, что естественные действия, которые узнаем разумным наблюдением или о которых заключаем на основании неотразимых доказательств, никак не должны подвергаться вопросу вследствие мест писания, которые, по буквальному смыслу слов, кажутся высказывающими иное, ибо не каждое изречение писания имеет такую строгую норму, как каждое действие природы».

Галилей, полагая, что библия не должна пониматься в буквальном смысле слова и что её истолкователи необязательно должны быть божественными авторитетами, несколько выше пишет:

«И так как библия во многих местах не только подлежит истолкованию, отличному от буквального значения слов, но и необходимо в таком истолковании нуждается, то в математических предиях, кажется мне, принадлежит ей последнее место».

Несколько ниже, развивая аргументацию, что ссылки на места библии не должны привлекаться в научных заключениях, Галилей заключает:

«... разумно, полагаю, было бы, если бы никто не позволял себе прибегать к местам писания и некоторым образом насиловать их с целью подтвердить то или другое научное заключение, которое позже, вследствие наблюдения и бесспорных аргументов, придётся, быть может, изменить в противоположное. И кто возьмёт на себя поставить предел человеческому духу? Кто решится утверждать, что мы знаем всё, что может быть познано в мире?».

Это высказывание Галилея бьёт по всякому догматизму в науке. Современных ему догматиков Галилей высмеивает резко и недвусмысленно:

«Если эти люди действительно верят, что знают истинный смысл каждого места библии, и потому убеждены, что имеют в руках абсолютную истину, то пусть открыто скажут: думают ли они, что тот, кто в научном споре держится истинного воззрения, имеет преимущество перед теми, кто держится ложного. Знаю, что они ответят: да, тот, кто является представителем истинного воззрения, имеет за собой тысячу наблюдений и неотразимых доказательств, другой же — только софизмы, паралогизмы и заблуждения. Но если они могут победить противника, оставаясь в границах естествознания и пользуясь лишь философским оружием, то зачем же, когда дойдёт до борьбы, хотят внезапно браться за неодолимое и страшное оружие, которого один

вид способен устранить искуснейшего и опытейшего борца? Если сказать правду, то я полагаю, первые пугаются они сами и ищут какого-либо средства защитить себя, не будучи в состоянии противостоять нападению противника. И так как имеющий на своей стороне истину имеет, как сказано, большое, даже громадное преимущество, а две истины не могут быть между собою в противоречии, то нам нечего бояться нападения, если только дастся нам возможность говорить и быть услышанными людьми, могущими нас понять и которыми не совсем завладели превратные страсти и интересы».

Это письмо Галилея явилось своего рода «кредо» нового мировоззрения. Оно быстро распространилось в списках и в Пизе, и во Флоренции, и в Риме. Церковники сравнительно долго не знали о существовании этого письма, и когда в 1614 г. доминиканец Каччини выступил с проповедью во Флоренции на тему о чуде Иисуса Навина, он, громя новое учение с церковной кафедры, ещё не знал о наличии письма. Но в 1615 г. уже известный нам Лорини достаёт копию письма, намеренно искажает его и, подчеркнув особо криминальные места¹, препровождает его со своим доносом в инквизицию. Так начинается первый процесс Галилея.

По доносу Лорини возникло дело. В качестве свидетелей были допрошены Каччини, доминиканец Ксимен, ученик Галилея Аттиванти. Несмотря на то, что инквизиционное следствие велось в секрете, Галилей почувствовал нависшую над ним угрозу и решил оправиться в Рим с целью отслють новое учение в римской курии. Он так сообщает в письме из Рима от 6 февраля 1616 г. о цели своей поездки:

«С моим делом связано другое, касающееся не только меня, но и всех, кто в последние восемьдесят лет в печатных сочинениях, в рукописях, в публичном преподавании, наконец, в частных разговорах защищал известное Вам учение или мнение, о котором идёт теперь дело, и хотят прийти к некоторому решению. При этом я полагал, что могу оказать содействие по отношению к той части вопроса, которая зависит от знания истины, доставляемых науками, мною представляемым».

Ситуация была такова. Доносчики обвиняли Галилея в том, что он придерживается учения Коперника и держится еретических мнений о боге и библии. Учение же Коперника церковью формально не было запрещено, и Галилей рассчитывал, что его удастся легализовать. К тому времени вышло «письмо» одного священника Фоскарини, в котором высказывалось мнение, что учение Коперника не противоречит религии. Подобного рода выступления, научные достижения Галилея и его связи заставляли его рассчитывать на возможность благоприятного исхода.

Во второй же части доноса инквизиции не удалось найти твёрдо установленных фактов против Галилея, кроме измышлений Каччини и Ксимена. Поэтому миссия Галилея, как он её и представлял, состояла в том, чтобы очистить себя от подозрений в ереси и легализовать новое учение. Первая часть задачи, с помощью рекомендательных писем герцога Тосканского к влиятельным кардиналам, была разрешена сравнительно скоро. Но Галилей считал главной своей задачей — добиться легализации нового учения. Эту задачу, как видно из отзывов современников, он решал с большим блеском и энергией. Так, в письме одного панского сановника Кверенги к кардиналу д'Эсте от 1616 г. мы читаем:

¹ В первых двух цитатах из письма Каstellи подчеркнутые нами места подчеркнуты также и Лорини.

«Вы испытали бы большое удовольствие, если бы слышали Галилея рассуждающим в кружке 15 и 20 человек, заседающих на него то в том, то в другом доме. Он так уверен в своем деле, что всех их высмеивает. И если не убедит в справедливости своего мнения, то, во всяком случае, докажет ничтожество аргументов, какими противники хотят повергнуть его на землю. В понедельник в доме сеньора Фредерико Гизиллери приводил он удивительные доказательства. Мне особенно понравилось то, что он, прежде чем ответить на приводимые против него аргументы, начинает их ещё подкреплять новыми, повидимому, сильными, чтобы потом через опровержение поставить противника в ещё более смелое положение».

Запрещение учения Коперника. Однако церковь не нуждалась в научных дискуссиях и не собиралась принимать в расчёт научной аргументации. Беда Галилея заключалась в том, что он, будучи сыном своего времени, не представлял себе со всей отчётливостью противоположности науки и религии. Вот почему для него неожиданностью явилось постановление священной конгрегации 5 марта 1616 г.

В письме того же Кверенги к д'Эсте от 5 марта мы читаем:

«Диспуты сеньора Галилея улетели, как в алхимическом дыму. Священное судилище объявило, что держаться этого мнения — значит явственно отступать от непогрешимых догматов церкви».

Но Галилей не хотел ещё сдаваться. О его настроении свидетельствует доносение посланника герцога Тосканского Гвиччардини. Там читаем:

«Вчера была собрана конгрегация, чтобы объявить мнение Коперника ложным и еретическим. Коперник и другие авторы, о том писавшие, будут или подвергнуты исправлению, или запрещены. Лично Галилей, полагаю, не пострадает, если будет достаточно благоразумен, чтобы хотеть и мыслить так, как святая церковь хочет и мыслит. Но он слишком горячится, безмерно страстен и слишком мало имеет благоразумия, чтобы побороть себя. При таких обстоятельствах римский воздух ему очень вреден, особенно в наше время, когда здешний владыка, который ненавидит изысканные знания и изысканные умы, слышать не может об этих ловизнах и тонкостях... Здесь есть монахи и инквизиторы, которые зложелательны к Галилею и преследуют его; а он находится, как я сказал, в настроении совсем не подходящем для здешней земли и может себе и другим навлиять большие огорчения».

Декрет конгрегации от 5 марта 1616 г. в части, относящейся к учению Коперника, гласил:

«А так как до сведения вышеуказанной конгрегации дошло, что ложно и целиком противное священному писанию пифагорейское учение о движении Земли и неподвижности Солнца, которому учит Николай Коперник в книге об обращениях небесных кругов и Дидак Астуника в комментариях на книгу Иова, уже широко распространяется и многими принимается, как это видно из появившегося в печати послания некоего кармелитского патера под названием: «Письмо кармелита отца Паоло Антонио Фоскарини по поводу мнения пифагорейцев и Коперника о движении Земли и неподвижности Солнца и новая пифагорейская система мира; Неаполь у Лавара Скорияно, 1615 г., в котором этот патер пытается доказать, что вышеуказанное учение о неподвижности Солнца в центре мира и движении Земли согласно с истиной и не противоречит святому писанию — то, чтобы такого рода мнение не распространялось мало-помалу на пагубу католической истины, конгрегация определила: названные книги Николая Коперника «Об обращении кругов» и Дидака Астуника «Комментария на Иова» должны быть временно задержаны впредь до их исправления. Книга же отца Паоло Антонио Фоскарини, кармелита, вовсе запрещается и осуждается. Все книги, учащие равным образом тому же, запрещаются, и настоящий декрет соответственно запрещает и осуждает их или временно задерживает».

Враги Галилея после опубликования декрета распустили слух, что Галилей был подвергнут церковному покаянию и отрёкся от своего учения. На самом деле этого не удалось им добиться на этот раз. Пока церковь



Рис. 60. Сожжение еретических книг.

могла только ограничиться тем, что до сведения Галилея генералом-инквизитором Беллармини было доведено, что держаться учения Коперника — значит быть еретиком. Это было серьезное предупреждение, сразу поставившее крест над всеми попытками Галилея вести открытую борьбу за новое мировоззрение. И Галилей переходит к методам нелегальной борьбы.

Период от запрещения учения Коперника до выхода «Диалога».

Наиболее значительным документом периода нелегальной борьбы до выхода «Диалога» является вышедшее в 1623 г. сочинение «Пробирщик» («Il Saggiatore»). Поводом к выходу в свет этого блестящего полемического сочинения Галилея послужили лекции иезуита Грасси о новых кометах, прочитанные им осенью 1616 г. Грасси высказывается в защиту мнения перипатетиков, что кометы — тела элементного происхождения и относятся к подлунному миру. С критикой взглядов Грасси выступил ученик Галилея Гвидуччи в 1619 г. В ответ Грасси под псевдонимом Сарзи выступил с сочинением «Всея астрономические и философские», направленным против взглядов Галилея. «Пробирщик» Галилея и явились ответом на это сочинение Сарзи. Как высказывается здесь Галилей?

«Что касается коперниковой системы, — говорит он, — то мы, католики, имеем счастье высшею мудростью быть спасены от заблуждения и исцелены от слепоты. Иначе не полагаю, чтобы такое благодеяние выпало на нашу долю, через приводимые Тихо аргументы и наблюдения. А так как обе системы (птоломеева и коперникова) ложны, система Тихо ничтожна, то Сарзи не должен меня порицать, если я вместе с Сенекою признаюсь, что истинное строение вселенной мне неизвестно».

Ясно чувствуется ирония Галилея по поводу «мудрости высших». Без этой «мудрости» невозможно отрицать систему Коперника. И Галилей не хочет защищать ортодоксальную систему Птолемея. Он доказывает, что система Птолемея ложна и находится в противоречии с фактами. В этот же период у него возникает мысль написать книгу, в которой в систематической форме была бы изложена научная аргументация за систему Коперника. Но как издать такую книгу? Галилею приходит в голову мысль написать её в форме диалога-диспута. Эта форма давала ему возможность рассчитывать на разрешение книги к печати, так как в форме подлежащих дискуссии гипотез можно было защищать что угодно. К этому времени в Риме был избран новый папа Урбан VIII, бывший кардинал Барберини. Кардинал Барберини относился, как будто, благосклонно к Галилею, и даже посвятил латинские стихи его открытиям. У Галилея возникла ещё раз надежда, что, может быть, удастся смягчить строгие постановления против коперниковой ереси, и он ещё упорнее продолжает работать над книгой. В 1630 г. Галилей повёз рукопись книги в Рим, чтобы испросить разрешение на напечатание. Риккарди, главный цензор, разрешение дал, но предложил снабдить книгу предисловием, в котором было бы сказано, что здесь мнение Коперника дискуссируется, но не принимается за истинное. Требуемое предисловие было написано и притом с тонким выпадом против заправил официальной науки. Говоря в предисловии о «спасительном декрете», осуждающем систему Коперника, Галилей намекает, что декрет отнюдь не был вызван научной объективной аргументацией против Коперника:

«Были голоса, тогда утверждавшие, — говорит он, — что решение это обязано происхождением не испытанию, основанному на знании дела, а вышло из партийного пристрастия без достаточного знания. Были сетования, громко выразившие, что советчики, вовсе незнакомые с состоянием астрономической науки, не должны были внезапным воспрещением подсекать крылья пытливым умам».

Указав (очевидно, на основе вполне достоверной информации), таким образом, на то, как расценивается декрет в передовых зарубежных кругах, Галилей следующим образом расчищает путь для своей книги:

«Поэтому намерение моё в настоящем нелёгком труде доказать чужим нациям, что в Италии и особенно в Риме об этом предмете знают не менее того, что добыто ипостранними исследованиями. Через соединение всех собственных изысканий о коперниковой системе я хочу показать, что римская цензура обо всём этом осведомлена и что страна здешняя не есть *только отечество душеспасительных догматов, но и проницательных открытий для улаживания умов*».

Здесь Галилей апеллирует к патристическим чувствам заправил римской курии, хочет вызвать у них краску стыда, но, конечно, напрасно. Далее он обрушивается на присяжных перипатетиков:

«Я в течение разговора принимаю сторону Коперника, причём по чисто математическому способу, выхожу от его системы, как от предположения, и стараюсь всеми приёмами искусства доказать, что эта система стоит выше, если и не системы неподвижности Земли, то, по крайней мере, тех возражений, какие делаются цеховыми перипатетиками. Эти люди в противоречии со своим именем, не делая ни шагу, удовлетворяются почитанием фантомов, не стараются искать истину путём собственных размышлений и руководятся памятованием четырёх дурно понятых начал».

Содержание «Диалога».

Книга Галилея «Диалог о двух системах мира» вышла в свет во Флоренции 2 августа 1632 г. В книге беседуют флорентинец Сальвиати, выражающий точку зрения Галилея и иногда прямо апеллирующий к результатам, полученным нашим другом академиком, т. е. Галилеем. Именем Сальвиати Галилей увековечил память своего друга Сальвиати, умершего в 1614 г. Другой собеседник, венецианец Сагредо, опять-таки лицо историческое, один из венецианских друзей Галилея, умерший в 1620 г. Третий собеседник, перипатетик Симпличио (простак), имя вымышленное, но, повидимому, также один из знакомых Галилея. Недруги Галилея заверяли папу Урбана VIII, что под именем Симпличио выведен он сам. Место беседы — Венеция, беседы ведутся в течение четырёх дней, на которые и разделена книга.

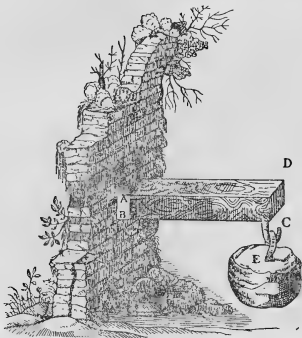


Рис. 61. Рисупок из «Диалогов».

Содержание беседы первого дня — критика учения перипатетиков о наличии в мире двух субстанций: элементарной и небесной и коренной противоположности этих субстанций. Здесь аргументация главным образом философская и привлекаются только некоторые астрономические факты: наблюдения Луны с помощью телескопа, новые звёзды, кометы.

В беседе второго дня разбирается вопрос о суточном движении Земли. Беседа этого дня занимает центральное место в «Диалоге». Здесь разбираются физические аргументы против системы Коперника и, в связи с этим, высказываются механические принципы Галилея: закон инерции, закон суперпозиции движений (независимости действия сил) и, наконец, классический принцип относительности Галилея, — полностью опровергающие эти аргументы.

В беседе третьего дня разбирается вопрос о годичном движении Земли. Здесь выставляются астрономические аргументы в пользу системы Коперника: открытие фаз Венеры, солнечные пятна, спутники Юпитера и, наконец, обычные астрономические наблюдения. В связи с вопросом о неизменности направления земной оси в пространстве рассказывается о магнитных исследованиях Галилея.

В беседе четвёртого дня излагается ошибочная теория Галилея приливов и отливов, которая, по его мнению, являлась сильнейшим аргументом в пользу системы Коперника. Таково в общих чертах содержание знаменитой книги.

Основы мировоззрения Галилея по «Диалогу».

«Диалог» представляет собой неоценимый документ для суждения о воззрениях Галилея. На основании высказываний, разбросанных в разных местах, мы можем составить довольно полное представление о философских позициях Галилея и о его взгляде на природу и познание природы. Галилей не сомневается в объективном существовании материального мира.

Он высказывает следующие мысли о возможности познания абсолютной истины:

«Понятие «разумения», — говорит Сальвиати, — можно рассматривать в двух отношениях, в интензивном и экстензивном. В экстензивном отношении, т. е. касательно числа подлежащих уразумению вещей, которых бесчисленное множество, человеческий разум равен нулю, хотя бы он познал тысячу истин; тысяча — ничто в сравнении с бесконечностью. Но если рассматривать разум с интензивной стороны, т. е. по отношению к совершенству познания какой-либо отдельной истины, то я утверждаю, что человеческий разум некоторые истины понимает в такой полноте и знает в такой же мере безусловно, как сама природа. Сюда принадлежат чисто математические знания: геометрия и арифметика. Конечно, божественный дух знает бесконечно большее число математических истин, ибо знает их все. Но знание немногих, каким обладает человеческий дух, по абсолютной достоверности равно знанию божественному. Достигнуто познание их необходимости, а это высшая ступень знания».

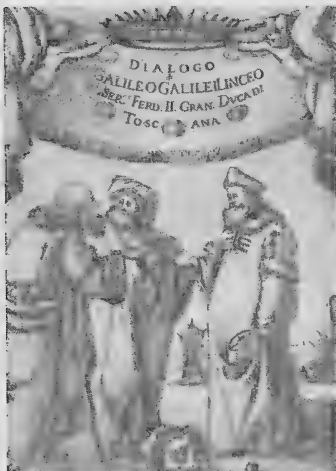


Рис. 62. Титул «Диалогов».

Таким образом, Галилей считает, что хотя абсолютная истина, т. е. полное познание мира, и не достижима, но в относительных истинах свойства мира познаются с достоверностью. Вера в могущество человеческого разума принадлежит к числу одной из наиболее характерных черт мировоззрения Галилея. Его мировоззрение является глубоко оптимистическим и прогрессивным.

Приведенное место из «Диалога» может быть неправильно понято в том смысле, что математические истины, которые человеческий разум знает с такой же достоверностью, как и божественный дух, принадлежат к числу врожденных идей, априорных категорий сознания. Но это неверно. В вопросах теории познания Галилей занимает вполне материалистическую позицию. Знания достигаются последовательным развитием:

«Мы размышляем шаг за шагом, переходя от одного заключения к другому».

Знания наши имеют своим источником практику, чувственные наблюдения. Так, Сальвиати решительно восстаёт против утверждения Симплицио, что Аристотель считал главным своим основанием априористические суждения.

«Сальвиати. То, что Вы говорите, относится к способу, каким Аристотель изложил своё учение. Но я не думаю, чтобы он достиг его таким путём. Напротив, я считаю несомненным, что он прежде всего старался с помощью чувств, опытного

познания и наблюдения убедиться в справедливости своих заключений и затем уже стал изыскивать способы, как их доказать. Таков обыкновенный ход в дедуктивных науках».

«... Будьте уверены, — продолжает Сальвиати, — что Пифагор, задолго до того как нашёл доказательство, за которое пришёл жертву богам, оправдал испытаниями, что квадрат, построенный на гипотенузе, равен сумме квадратов, построенных на катетах».

В процессе накопления фактов, в процессе развития научного познания те или иные положения видоизменяются и даже заменяются на противоположные.

«С а л ь в и а т и. В наше время открыты новые способы наблюдения. Не сомневаюсь, что Аристотель переменял бы свои воззрения, если бы жил в наше время».

Сопоставляя эти высказывания Галилея с уже приводившимся местом из письма к Кастелли о недопустимости слепого преклонения перед авторитетами в естествознании, мы можем сделать вывод, что в вопросах теории познания, учения об абсолютной и относительной истине Галилей занимает материалистическую позицию, в которой в зародыше присутствуют идеи о неограниченном приближении к познанию абсолютной истины, о сложении её из суммы относительных истин, об абсолютной и относительной истине, о роли практики в теории познания.

Галилей резко протестует против всякой мистики в науке. Основатель математического метода в физике, он чужд всякого пифагоризма, столь модного в его время. Он знает цену математике, знает мощь математических методов в познании природы, он знает, что эта сила обусловлена соответствием законов логики и законов внешнего мира, и для него примат остаётся за внешним миром. Возьмите разговор в начале книги о совершенстве мира. Мир совершенен, утверждают перипатетики, ибо имеет все три измерения. Симплицию добавляет, что три — символ совершенства, и ссылается на Пифагора. В ответ резкая реплика Сальвиати:

«Ни какого не имею побуждения из того, что начало, середина и конец образуют тропицу, заключить, что число три есть нечто совершенное, способное это совершенство перенести на каждую тропичность в вещах. Не могу понять, почему, например, относительно ног число три было бы совершеннее четырёх или двух; и почему число четыре, как число элементов, несовершенно, а числу три принадлежит высшее совершенство. Лучше бы бросить эти пустяки и это красноречие, а основывать утверждения на строгом доказательстве, как приличествует дедуктивным наукам».

И далее Галилей устанавливает, каким образом определяются пространственные протяжения. Его способ — зародыш метода координат. Кратчайшее расстояние между двумя точками — прямая — определяет длину; перпендикулярная к ней прямая — кратчайшее расстояние точки на плоскости от этой прямой — определяет ширину плоскости. Длина отвесной линии от этой плоскости определит высоту. Три протяжения пространства задаются тремя перпендикулярами из одной точки, а таких перпендикуляров может быть только три. Таким образом, трёхмерность пространства определена тем, что его протяжённые свойства определены евклидовой геометрией. Это — факт, не заключающий в себе ничего мистического. Этот факт так же естественен, как естественно то, что в евклидовой геометрии прямая — кратчайшее расстояние между двумя точками.

Из «Диалога» мы можем составить далее представление о натурфилософских концепциях Галилея. В течение всего первого дня Галилей-Сальвиати нападает на тезис перипатетиков, что мир конечен и имеет центр. Он говорит, что это положение Аристотеля нигде не следует. В беседе третьего дня он возвращается ещё раз к этому вопросу.

«Сальвиати. Скажите же, что собою представляет и где находится этот подразумеваемый Вами центр?».

«Симпличио. Я понимаю под этим центром центр вселенной мира, сферы неподвижных звёзд».

Dall'indagine fatta & la osservazione dell'altezza massima della luna del Perseo,
e del Plurione & paragoni la distanza dalla * del centro della Terra più di 358 semid.

Altezza Polari del Perseo. gr 11 54 Altezza della * 79. 56.
Plurione. gr. 39. 80 67. 36
Differenza dell'alt. 27 12. 24 Differ. dell'alt. dalla *
12. 24
0. 2 Differenza di Parall.

Angolo BAD. gr. 12. 24 la metà del quale aggiunta a 90
da l'ang. BDC. gr. 96. 12. questo è la distanza dal vertice della maggiore delle 2. elevazioni dalla *
da l'ang. BDC. gr. 106. 16. il suo di questo spz. è 91996
l'ang. BCD. gr. 0 2. di questo il suo è 58.

Lo corda dell'arco BD. è 21602. di quale il semid. è 100000
in relazione al semid. diam. AB
Cresci la linea BC. la quale alla BD e come il suo dell'ang.
BDC. al suo dell'ang. BCD. cioè come 91996. a 58.

Diremo dunque la regola aurea. Se quando la linea BD è 58. la BC. è 91996. quante la med.
BD. fosse 21602. quanto sarebbe la BC. si deve moltiplicare 91996. per 21602. et il

58 99996. 21602
21602 1

191992

575976

95996

191992

38 270 2 33 106492

43

prodotto partir per 58. ad habere partire il
quoziente per 100000. ma per fatto in una
solabrazione si partirà il prodotto per il
il moltiplicato di 100000 per 58. cioè
5800000. Et quando le 5. ult. figure che
100006492 si partirà il residuo 58. ne usi
357 1/2 et tanti semid. è la linea BC. et le 2
CB. BA. saranno 358 1/2 cioè la c. di distanza
della * del cdo ad una metà di 358. semid.

Рис. 63. Страницка черновой рукописи «Диалогов».

«Сальвиати. Я бы весьма основательно мог поставить здесь на вид спорный вопрос — есть ли вообще центр в природе, ибо ни Вы и никто не доказали, что мир конечен и имеет определенную форму, а не бесконечен и неограничен».

В дальнейшем Сальвиати, заставляя Симпличио рисовать расположение светил по системе Коперника, спрашивает:

«Что же теперь остаётся нам сделать с неподвижными звёздами? Должны ли мы вообразить их рассеянными в неизмеримых глубинах вселенной на различных расстояниях от каждого произвольно взятого пункта или распределёнными на сферической поверхности, имеющей центр, от которого они все одинаково удалены?».

Подобного рода вопросам, встречающимися неоднократно, Галилей показывает, что он идёт дальше Коперника, идёт вслед за Кузанским и Бруно. По цензурным условиям он не может высказаться утвердительно в пользу неограниченности мира — сожжение Бруно ещё не было забыто, но поставленные им вопросы и ответы перипатетика не оставляют сомнения

в действительных воззрениях Галилея. Но всякая, даже малейшая доля сомнения исчезает, если вспомнить, что в том же «Диалоге» Галилей устанавливает принцип относительности. *Отрицая существование неподвижного центра по философским соображениям, Галилей тем самым отрицал наличие абсолютного движения в природе, и физическая формулировка принципа относительности явилась логическим результатом его взгляда на неограниченность мира.* Такой глубиной мысли и понимания природы движения и покоя Галилей стал на голову выше не только своих современников, но и Ньютона, допускавшего абсолютное неподвижное пространство. Галилей мог вполне сказать, что не только Птоломей не прав, утверждая неподвижность Земли, но не прав и Коперник, утверждая неподвижность Солнца. Неподвижного центра во вселенной нет. Если во взглядах на бесконечность вселенной Галилей следует Кузапекскому и Бруно, развивая последовательно их взгляды до формулировки относительности движения и покоя, то во взглядах на строение материи Галилей несомненно восходит к древним атомистам. (Эти философские симпатии Галилея, опять-таки, не могли быть им названы открыто по цензурным соображениям.)

Возражая перипатетикам, учившим, что на несовершенной Земле происходят разрушения и порождения частей, Сальвати говорят:

«Никогда не мог я понять — говорю о естественных вещах — превращения вещества одного в другое, причём одно так изменяется, что его можно считать разрушившимся без следа и давным из себя совершенно отличное тело. С своей стороны, когда я вижу, что тело теперь имеет один вид и несколько позже принимает другой, совсем отличный, я считаю не невозможным, что произошло изменение в расположении частей без разрушения чего-либо и без порождения нового. Такие превращения мы видим каждый день».

Отчётливо видно происхождение этой идеи сохранения материи от атомистов: все превращения — соединения и разъединения неразрушимых атомов. Отмечая здесь это обстоятельство, мы в дальнейшем увидим, что школа древних атомистов долгие годы над физическими концепциями почти всех великих естествоиспытателей и философов XVII в. Не скрывает симпатий к Демокриту и Эпикуру, а в основных законах природы антипода атомистов Декарта чувствуется влияние их школы. Противник Декарта Гассенди реставрирует Эпикура. Определение массы у Ньютона и его натурфилософские концепции определённо ведут своё происхождение от атомистов. Создатели нового естествознания, борясь против схоластической философии, низвергая Аристотеля, восстанавливали в правах философию атомистов. Опровергая учение о разрушимости земных тел, Галилей вместе с тем учит, что изменение, жизнь — основа всего существующего. Он резко восстает против воззрений схоластов о том, что неизменность и неразрушимость небес означают их совершенство:

«С а г р е д о. Не могу слышать без удивления и внутреннего противодействия, когда неизменяемость, отсутствие взаимодействий и переходов приписываются телам, как нечто превосходное и совершенное в противоположность изменчивости, порожденности, превращению. С своей стороны, я почтиваю Землю за нечто превосходное и чудесное, именно благодаря этим многочисленным и разнообразным превращениям, непрерывно на ней происходящим. Будь она, напротив того, не подвержена переменам, представляя она собой песчаную пустыню или ледяной шар, обратись, чрез замерзание покрывшей её при потопе воды, в ледяной шар, на котором ничто бы не рождалось, не разрушалось, не изменялось — я счёл бы её бесполезною на свете вообще, неуживой, лишней, как если бы её вовсе не было. Она представлялась бы мне, как мёртвое тело в сравнении с живым. То же надо сказать о Луне, Юпитере и других шарах вселенной».

«Кто так высоко ценит неразрушимость и неизменяемость, тот, полагаю, побуждается желанием долго, долго жить на этом свете и страхом смерти. Не хотят подумать,

что, будь люди бессмертны, они бы не ценили появления на свет. Такие люди заслуживают взором Медузы быть обращёнными в статуи из яшмы и алмаза, дабы достичь высшего совершенства.

«Сальвиати. Может быть для них была бы выгодна такая метаморфоза, ибо, по моему, лучше вовсе не думать, чем думать извращённо».

Прекрасный отрывок этот хорошо иллюстрирует ту истину, что восходящий класс — оптимистичен, вопреки уходящему классу. Феодализм, чувствуя свою гибель, устами своих идеологов провозглашал учение о неизменности, неразрушимости установленного порядка вещей. Молодой класс, научившийся ценить благо рождения, заявляет идеологам старого порядка, что устами их говорит страх смерти: обратитесь в безжизненные статуи!

Таковы философские воззрения Галилея. Они проникнуты глубокой оптимистичностью, верою в мощь человеческого разума, в мощь науки. С каким пафосом говорит Салредо в конце беседы первого дня о мощи человеческого гения:

«Часто случалось мне, когда я касался предмета, о котором идёт теперь речь, признавать, как велика пропавшая у нас способность ума человеческого... Когда смотрю я, какие произведены статуи, спрашиваю себя, научусь ли когда-либо из куска мрамора вызвать эту прекрасную фигуру, которая в нём сокрыта? Или как Микель Анджело, Рафаэль, Тициан чрез наложение красок на полотно или стену изобразить целое царство видимого? Могу ли не удивиться, когда вспомню, как научился человек разделять музыкальные интервалы установкой правил, помощью которых становится возможным прельщать слух? А разнообразные инструменты! А произведения поэтов, которые открывают нам такие богатства изображения и выражения. А архитектура и мореплавание! Наконец, насколько выше всех этих чудных изобретений подвиги гений того, кто нашёл средство сообщать секретнейшие мысли другому, как бы далеко в пространстве и времени он ни находился! Говорить с находящимися в Пизе, говорить с теми, кто ещё не родился и родится чрез тысячу, десять тысяч лет! И с какой лёгкостью! Чрез соединение нескольких значков на белой бумаге».

Понятно, что Галилей с особенной силой обрушивается на тех, кто стремится воспрепятствовать свободному развитию человеческого гения, на представителей церковной схоластики. Вот он, устами Сальвиати, говорит о них в начале беседы 3-го дня с нескрываемым презрением:

«Некоторые люди, — не раз случалось наблюдать, — выведя поспешные заключения, вбьют себе в голову какое-нибудь утверждение и упорно его держатся как собственного или как приобретённого от аккредитованных лиц, так что искоренить его из их голов оказывается невозможным. Доводы, как бы неосновательны и даже бессмысленны ни были, если кажутся подтверждающими предвзятое мнение, принимаются с одобрением: возражений, как бы ни были разумны и убедительны, принимают не только с неохотою, но с раздражением и сильнейшим гневом. Иногда осмеливаются в ярости прибегать ко всяким средствам, чтобы уничтожить и принудить к молчанию противников. В этом отношении я имею некоторую опытность».

Ясно видно из подчёркнутых слов переживания Галилея, когда его заставили замолчать, и какие люди!

Несколько выше он так характеризует их аргументы:

«... аргументы, которые я стыжусь повторять не затем, чтобы щадить их составителей, — их имена всегда можно бы умолчать, — но чтобы не налагать пятна на род человеческий».

Зато, когда Галилей имеет хотя бы малейшую возможность, с какой силой клеймит он это пятно человеческого рода. Можно было бы привести бесчисленное множество мест, но мы приведём только одно, в котором Галилей уничтожает своих противников с исключительным сарказмом.

«Симпличио. Признаюсь, что я всю ночь обдумывал наши вчерашние рассуждения. Нахожу в них немало прекрасного, нового, меткого. Но я ещё более проникся уважением к великим писателям, особенно... Что вы качаете головой и посмеиваетесь, сеньор Сагредо, точно я сказал что-то необычайное?»

«Сагредо. Я не посмеиваюсь, но, поверьте, почти задыхаюсь, чтобы громко не расхохотаться. Вы напомнили мне курьёзный анекдот, которого я был несколько лет тому назад свидетелем вместе с несколькими приятелями, которых имена мог бы назвать».

«Сальвиати. Хорошо, если бы рассказали эту историю, а то у сеньора Симпличио может остаться мысль, что это он заставил Вас смеяться».

«Сагредо. Извольте. Однажды я был в доме одного очень известного в Венеции врача куда многие приходили отчасти, чтобы учиться, отчасти из любопытства посмотреть вскрытие трупа, производимое таким учёным и искусным анатомом. Случилось, что в этот день исследовалось, откуда выходят нервы, чтобы решить знаменитый спор между врачами из школы Галена и перипатетиками. Когда анатом показал, что главный нервный ствол выходит из мозга, распространяясь чрез позвоночник, и разветвляется по всему телу, посылая лишь тонкую, как нить, ветвь к сердцу, он обратился к одному присутствовавшему дворянину, которого знал за перипатетика и которому потому особенно внимательно показывал препарат, с вопросом, удовлетворён ли он и убедился ли, что нервы выходят из мозга, а не из сердца. На это наш философ, подумав немного, возразил: «Вы так всё это ясно и наглядно показали, что не будь в тексте Аристотеля, в противность тому, прямо сказано, что нервы происхождения имеют из сердца, я должен бы был согласиться, что Вы правы».

Симпличио в ответ на этот анекдот ещё продолжает защищать перипатетиков. В отчаянии он взывает:

«Если отказаться от Аристотеля, то кто же будет нам проводником в науке? Назовите другого автора».

«Сальвиати. Проводник требуется в странах неизвестных и диких; в открытой и ровной стране проводник нужен лишь слепому. Тому лучше оставаться дома. Кто имеет глаза — телесные и духовные — пусть их берёт в проводники. При этом я не говорю, что не нужно слушать Аристотеля. Я даже хвалю, когда его внимательно изучают. Но я не одобряю, когда отдаются ему слепо и каждое его слово принимают как закон. Это злоупотребление, ведущее за собою вредное последствие: не заботиться убедиться в строгости доказательств. *Разве не достойно посмеяться, когда на диспуте о каком-нибудь предмете, подлежащем доказательству, вдруг кто-нибудь приведёт цитату, часто относящуюся совсем к другому предмету, и ею заткнёт рот противнику? Если Вы хотите так продолжать в деле науки, то не называйтесь философами,зовитесь историками, докторами зубрения. Кто никогда не философствует, не имеет права на почётный титул философа.*

Приведённые высказывания ясно свидетельствуют о силе и страстности, с которыми Галилей в своей книге бичует своих противников и ратует за новое мировоззрение. Надо удивляться юношеской горячности в этой книге 70-летнего старца. Его чисто физические доказательства, приводящие к таким гениальным обобщениям, как принцип относительности, остаются навсегда в активе нашего мировоззрения. Даже его ошибки, как, например, теория приливов, только лишней раз подтверждают целеустремлённость книги. Галилей чувствовал, что на движущейся Земле долины быть доказательства её ускорения, он искал физических доказательств. Они были найдены потом: опыт Фуко, кориолисово ускорение рек, те же пассаты, о которых говорил Галилей, и другие явления. Но в его распоряжении ещё не было динамики вращательного движения, и естественно, что он не мог найти правильных путей.

Отметим ещё для характеристики натурфилософских концепций Галилея его космогоническую гипотезу. Она до известной степени обратна гипотезе Канта — Лапласа и, разумеется, не выдерживает критики. Заслуга Галилея, однако, состоит в том, что он поставил вопрос о едином происхождении солнечной системы, тем самым давая новую аргументацию в пользу коперниковой системы. Планеты, по его гипотезе, находились первоначально в удалённых точках пространства. В согласии с аристотелевской концепцией, эти планеты двигались ускоренным движением к некоторым фиксированным центрам («цель» — «силовой центр»). Получив

надлежащую скорость, они силою стороннего толчка превращали прямолинейное движение в круговое с достигнутой скоростью вокруг Солнца. Здесь важно отметить происхождение идеи силового центра, отчётливо проступающей в этом месте «Диалога», от аристотелевской концепции «цели».

Второй процесс Галилея.

Книга Галилея вызвала сенсацию в научных кругах всех стран и бурю среди церковников. Немедленно началась кампания иезуитов против автора книги. Галилей сообщает в одном из писем осенью 1632 г., т. е. вскоре после выхода книги:

«Из верного источника слышу, что отцы-иезуиты наговорили решающей особе (т. е. папе), что моя книга ужаснее и для церкви пагубнее писания Лютера и Кальвина».

Папа Урбан VIII пришел в сильнейший гнев против Галилея. Отдаётся приказ начать процесс. Галилей получает 23 ноября 1632 г. предписание инквизиции явиться в Рим. Больной старик, представляя свидетельство о болезни, просит отсрочить вызов. Инквизиция повторяет вызов, угрожая доставить старика в цепи под конвоем в случае ослушания. В феврале 1633 г. Галилей на носилках доставляется в Рим. До 12 апреля он проживает у тосканского посланника, с 12 по 30 апреля содержится в тюрьме инквизиции. Затем опять содержится в доме посланника до 20 июня. День 21 июня и ночь с 21 июня на 22 июня накануне отречения Галилей опять проводит в тюрьме инквизиции.

Течение процесса рисуется следующим образом. 2 апреля первый допрос Галилея. Галилею предъявляется обвинение в нарушении постановления конгрегации индекса от 5 марта 1616 г. Галилей отвергает обвинение, утверждая, что книгу он писал в форме диспута и на протяжении книги держится коперниканского мнения только в качестве предположения. При этом он ссылается на свидетельство, данное Беллармини, и на письмо Беллармини, из которого можно вывести заключение, что защищать и разделять мнение Коперника нельзя, но держаться, как гипотезы, можно. Трибунал, ссылаясь на показания свидетелей — комиссаров инквизиции, утверждает, что Галилею было сделано категорическое приказание — никаким образом не учить и не разделять мнения Коперника. Галилей утверждает, что он не помнит слов «никаким образом» и «учить». В свидетельстве этих слов не было.

Позиция, занятая Галилеем на допросе, вызвала сильнейшее раздражение папы. Доказать формальную вину Галилея становилось затруднительным. С другой стороны, церковники ясно видели всю силу аргументации Галилея, книга Галилея имела огромный успех во всех странах Западной Европы. Осуждение Галилея, как упорствующего еретика, придало бы ещё больший вес книге великого учёного. Поэтому задача следствия заключалась в том, чтобы сломить Галилея и заставить его самого осудить учение. При формальной правоте Галилея эта задача была бы неразрешима. Поэтому в течение первой стадии процесса усилия судей устремлены на то, чтобы вынудить у Галилея признание нарушения им данного ему постановления о системе Коперника. Папа даёт приказание вынудить сознание любыми путями.

Приведём выдержки из письма комиссара инквизиции кардиналу Беллармини от 28 апреля 1633 г.

«Вчера я согласно приказанию господина нашего (т. е. папы) кратко сообщил сеньорам кардиналам о положении дела Галилея. Кардиналы одобрили сделанное

доселе. Затем подняли вопрос о *трудностях, представляющихся к тому*, чтобы вести дело и *скорее его покончить*, а именно: Галилей при сделанном ему допросе отрицает то, что, однако, с очевидностью вытекает из составленной им книги. Если он останется при таком зашифровании, то нужно было по правилам отнестись к нему с *большой строгостью* и не оказывать тех знаков внимания, какие иначе *кажутся благопотребными в этом деле*. В заключение я предложил, не уполномочит ли меня св. конгрегация *экстренным образом переговорить с Галилеем*, чтобы убедить его в его заблуждении и довести до того, чтобы он, признав его, сделал сознание. Предложение показалось вначале слишком смелым. Думали, что нельзя достигнуть такой цели, пока останемся при том, чтобы убеждать Галилея аргументами. *Но когда я объяснил основание, на каком делаю это предложение, мне дали полномочие*.

Не теряя времени, я вчера, после завтрака, беседовал с Галилеем, и после того так мы обменялись многими и многими аргументами и ответами, с божьей помощью я достиг цели».

Документ производит странное впечатление и вызывает ряд вопросов. Почему надо было скорее покончить с делом Галилея? Почему считалось благоприятным относиться к нему с некоторой мягкостью? Ведь не постеснялись же 7 лет до приговора томить Бруно. Ведь не постеснялись же передать больному старику Галилею угрозу доставки его в цепях на суд инквизиции. Что же наконец, это было за основание, которое так быстро сломило упорство Галилея?

Посмотрим, что признал Галилей. Замечательно, что он попросил дать ему время, «чтобы обдумать, как сделать признание наиболее приличным, (из того же письма). Ему было предоставлено 2 дня.

Вот его показание 30 апреля 1633 г.

«Много дней обдумывая вопросы, поставленные мне на допросе, мне пришло на мысль перечитать мой напечатанный «Диалог», который я уже три года не пересматривал. Он явился для меня как бы новым сочинением чужого мне автора. Сочинение *открыто признаю в том, во многих местах сделало впечатление, что изложение их может читателю, не знакомому с моим образом мыслей, дать повод заключить, что аргументы, выставленные в пользу ложной части, которую я имел в виду опровергнуть, выражены так, что по силе своей могут укрепить ложное мнение, чем облегчить его опровержение. Особенно два аргумента: одно о солнечных пятнах, другое о приливе и отливе».*

Как мы видим, это скорее полупризнание. Да, Галилей признает, что книга могла произвести впечатление силой своих аргументов. Но вот что интересно. Галилей считает самыми сильными два аргумента, один мало существенный для данного вопроса, другой ошибочный, противоречащий его же принципу. Вполне можно допустить, что Галилей не читал три года книги (пока рукопись печаталась) и заметил в ней ряд слабых мест (например, в последующей книге он исправил нечёткую формулировку закона инерции, данную в «Диалоге», и исправил неправильное решение задачи о траектории горизонтально брошенного тела). Как бы то ни было, знаменательно следующее обстоятельство: подкрепив своё сознание ссылками на увлечение в процессе письма формой диспута, Галилей прибавляет:

«Для большого подкрепления утверждения моего, что я не принимал и не принимаю за истинное осуждённое мнение о движении Земли и неподвижности Солнца, я готов, если даны мне будут, *как того желаю*, возможность и время, доставить ещё более ясное тому доказательство. *К тому есть удобный повод, ибо в напечатанной книге собеседники условились чрез некоторое время вновь собраться и побеседовать о различных естественно-исторических вопросах, затронутых в их разговорах.* В таком случае, я обещаю, присоединив одну или две беседы, вернуться к приведённым в пользу сказанного ложного и осуждённого мнения (аргументам) и опровергнуть их с убедительностью, насколько даст мне сё милосердный бог».

Сопоставляя эти документы с последующей судьбой Галилея и его творчества, равно как приняв во внимание окружающую обстановку, можно высказать следующее:

1) Галилей не считал своего дела законченным, ещё не всё задуманное им было осуществлено. Мы можем с уверенностью сказать, что без «Discorsi» (книги, выпущенной после процесса) ещё не было бы Галилея, как основоположника новой физики.

2) Галилей рассчитывал, и совершенно справедливо, что при его официальном, учёном, международном значении инквизиции будет не легко его осудить. Предисловие к «Диалогу» недвусмысленно апеллировало к патристическим чувствам итальянских кругов. После этого предисловия осуждение Галилея было бы равносильно признанию Италии страной мракобесия.

3) Галилей рассчитывал на известный раскол в римской курии, на наличие, если можно так выразиться, «либеральных» кругов в ней, к которым он причислял и папу Урбана VIII.

4) Инквизиции невыгодно было применение прямых репрессий к Галилею при указанных обстоятельствах. Инквизиции перед лицом разраставшегося движения, которое не было остановлено кострами и пытками, выгоднее было добиться осуждения учения устами самого лидера.

Получилось сложное положение. И той и другой стороне нужна была жизнь Галилея, одной — для завершения задуманного дела и укрепления его, другой — для разрушения этого дела и укрепления пошатнувшегося авторитета римской церкви. Однако, если в начале процесса обе стороны находились примерно в одинаковых условиях незнания истинных намерений друг друга, то к середине процесса преимущество перешло на сторону инквизиции. Заботы Галилея о сохранении своих рукописей не остались неизвестными инквизиции. Нет сомнения, что комиссар, по прямому приказанию папы, чего не ожидал Галилей, пригрозил Галилею не только его осуждением, как еретика, но и уничтожением всех его рукописей и книг. Так было достигнуто сознание. Ценой тягчайшей моральной пытки, ценой невероятных унижений перед теми, кого он так страстно бичевал в своих произведениях, Галилей купил возможность завершения своего дела. Но не его родине пришлось продолжать это дело. Правда, ученики Галилея ещё с успехом продолжали работу по начертаниям Галилея лет 20 после его смерти. Однако разгром флорентинской академии, вместе с осуждением Галилея, отбросил Италию на последнее место в научном соревновании стран.

После признания Галилей был освобождён из тюрьмы и проживал под надзором в доме посланника герцога Тосканского. Теперь старания инквизиции направлялись на то, чтобы закрепить достигнутый успех и вынудить у Галилея признание «касательно побуждений». Таким путём они надеялись разгромить галилеистов, заставив Галилея сознаться в коперниковской ереси и назвать сообщников — еретиков. В протоколе заседания от 16 июня значится:

«Его свейтейшество повелел, чтобы сей Галилей был спрошен касательно побуждений под угрозою пытки».¹

Во исполнение декрета папы Галилея вызывают для допроса. В протоколе последнего допроса значится:

«Сказано ему (Галилею), что именно из этой книги «Диалога» и из приводимых в ней аргументов, утверждающих мнение, что Земля движется, а Солнце неподвижно, произошло подозрение, что он держится коперникова учения или по крайней мере держался уже после упомянутого запрещения. Поэтому, если не признается в истине, то будет прибегнуто против него к законным мерам.

О т в е т. Я не держусь и после сообщённого мне повеления не держался мнения Коперника. Впрочем, я здесь в ваших руках, делайте со мной, что вам угодно.

— И сказано ему, чтобы сказал правду, иначе приступлено будет к пытке.

О т в е т. Я здесь затем, чтобы повиноваться. Повторяю, что я после решения не держался упомянутого мнения».

И так как ничего другого нельзя было иметь во исполнение декрета, то он был отпущен в его помещение.

Ночь накануне осуждения с 21 на 22, а также весь день 21 июня Галилей проводит в тюрьме инквизиции. Приводимый ниже текст приговора ясно свидетельствует, зачем содержался в течение суток Галилей в инквизиционном помещении. Кровавые «псы господни» (буквальный перевод слова «доминиканцы») приведением в исполнение угрозы пытки пытались сломить до конца дух Галилея, чтобы обеспечить полный успех отречения. Их опасения были не напрасны. Легенда «а всё-таки она вертится» имела вполне реальную базу, как мы увидим это ниже. Мы приведём полностью текст приговора, который навсегда останется в истории человеческой мысли ярчайшим выражением непримеримости науки и религии.

«Мы, Гаспар, по титулу св. креста в Иерусалиме Борджиа. Брат Феликс Центиус, по титулу св. Анастасии, именуемый из Аускуло. Гвидо, по титулу св. Марии дель Пополо Бентиволус. Брат Дезидериус Скалиа, по титулу св. Карла, именуемый из Кремоны. Брат Антонио Барберинус, именуемый от св. Онуфрия. Ландвинус Заккия, по титулу св. Петра в узах, именуемый от св. Сикста. Берлингерус, по титулу св. Августина Гипсус. Фабрициус от св. Лаврентия Веросилус — священники. Франциск св. Лаврентия в Дамазо Барберинус. Марциус от св. Марии Новой — диаконы.

Но милосердно божью кардиналы римской церкви, нарочито от священного апостольского престола поставленные генерал-инквизиторы против еретической злобы во всём христианском мире.

На тебя, Галилей, сын покойного Винченцо Галилея из Флоренции, 70 лет, было в 1615 г. донесено сему священному судилищу, что ты за истинное почитаешь ложное учение от многих преподавшее, а именно, что солнце находится в центре мира и неподвижно, а земля движется и к тому же сучочно вращается; так же, что был у тебя ученик, которым ты преподавал это учение; что переписывался с ним с некоторыми германскими математиками; что выдал в свет некоторое послание, озаглавленное «О солнечных пятнах», в котором излагал то же учение, как бы истинное; что на возражения, многократно тебе делаемые, от святого писания взятые, отвечал, истолковывая писание в твоём смысле. Далее предъявлен был список с сочинения твоего в форме письма (речь идёт о письме к Кастелли. — П. К.), причём присовокупилось, что писано оно было к одному старому твоему ученику. В письме, в коем ты следуешь гипотезе Коперника, содержится различные положения, противные истинному смыслу и авторитету священного писания.

Вследствие сего священный трибунал пожелал противодействовать непристойностям и вреду, отсюда протекавшим в ущерб святой вере; и по повелению господина нашего и их эминенций (их преосвященств. — П. К.) господ кардиналов сей высшей всеобщей инквизиции, теологи-квалификаторы два положения о неподвижности солнца и о движении земли установили следующим образом:

Положение, будто солнце находится в центре мира и движения в пространстве не имеет, нелепо, ложно по философии и формально еретично, ибо прямо противно священному писанию.

Положение, что земля не центр мира, не неподвижна, но движется, имея вместе и сучное обращение, также нелепо, ложно по философии, и рассматриваемое богословски, представляет собою, по меньшей мере, веру противное заблуждение.

Но так как мы желали мягко поступить с тобою, то постановлено было 25 февраля в священной конгрегации, в присутствии господина нашего, чтобы сго эминенция господни кардинал Беллармини толковал тебе совсем оставить сказанное ложное учение; в случае же упорства твоего тебе надлежало сообщить, чрез комиссара священного судилища, повеление отказать от сказанного учения, не преподавать другим, не защищать и не излагать его. Если же не последуешь повелению, то будешь подвергнут заключению. В исполнение такового решения, на следующий день в здании суда в присутствии сго эминенции упомянутого господина кардинала Беллармини, после того, как господин кардинал кротко увещевал тебя, передано было тебе чрез отца комиссара священного судилища, при нотариусе и свидетелях, повеление совсем отказаться от сказанного ложного мнения, и в будущем обязаться не защищать ни-

ким образом и не преподавать его ни устно, ни в письме. И после того, как ты обещался повиноваться, был ты отпущен.

Недавно появилась здесь книга, изданная в прошлом году во Флоренции, коей надписание показывает, что ты её автор, так как заглавие её «Dialogo di Galileo Galilei delle due massimi sistemi del mondo Tolemaico e Copernicano». И так как до



Рис. 64—65. Пытка инквизиции.

сведения священной конгрегации дошло, что с напечатанием книги этой ложное мнение о движении земли и неподвижности солнца со всяким днем распространяется более и более, то упомянутая книга была внимательно рассмотрена и обнаружилось, что ты в ней явно нарушил упомянутое выше данное тебе повеление. В книге твоей ты защищаешь мнение осужденное, и об осуждении которого тебе было нарочито объявлено. И хотя ты разными оборотами стараешься уверить, что выставляешь его не как решенное, а как очень вероятное, но и это есть столь же тяжелое заблуждение, ибо не может быть вероятным мнение, о коем объявлено и определено, что оно противно священному писанию.

Посему вызвал ты, повелением нашим, к сему священному судилищу, на коем клятвенно признал, что книга тобою писана и отдана была в печать. Призвался ты

также, что начал писать названную книгу лет десять-двадцать тому назад, после того, как тебе сообщено было упомянутое повеление, а также, что испрашивал разрешение к печати, не сообщив тем, кои разрешение давали, что тебе воспрещено было признать упомянутое учение истинным, защищать и преподавать его каким либо образом.

Главным образом, сознался ты, что сочинение твоё во многих местах так изложено, что у читателя может родиться мысль, что аргументы в пользу ложного учения выражены так, что скорее должны убедить ум своєю сплюю, чем быть опровергнутыми. При сём в оправдание себе ты говорил, что впал в ошибку ненамеренно, так как писал в форме диалога, и увлекаясь естественным удовольствием, которое каждый находит в собственных тонкостях и в том, чтобы показать себя остроумнее других, изобретая в пользу ложных положений блестящие аргументы, способные придать ему вид вероятности.

И когда тебе дан был надлежащий срок приготовиться к защите, ты представил собственноручное свидетельство его эминенции кардинала Беллармини, которое ты, по словам твоим, достал от него, чтобы защитить себя от врагов твоих, которые говорили, что ты отрёкся и был подвергнут священным трибуналом наказанию. В свидетельстве сказано, что ты не отрекался и не был подвергнут наказанию, а что тебе было только сообщено объявление, сделанное господином нашим и обнародованное конгрегациею индекса, в котором указано, что учение о движении земли и неподвижности солнца противно священному писанию и потому не может быть ни защищено, ни разделяемо. А так как в свидетельстве не упоминаются слова повеления «учить» (docere) и «никоим образом» (quovis modo), то надлежит думать, как ты говорил, что слова эти в течение 14 или 16 лет у тебя из памяти и ты умолчал потому о повелении, когда просил о позволении печатать; приводишь это, говорил ты, не для оправдания своей вины, а для того, чтобы приписать её не злому умыслу, а простому тщеславию. Но это самое, предъявленное тебе в оправдание свидетельство только увеличивает тяжесть обвинения, ибо, несмотря на то что в нём упомянутое учение означено как противное священному писанию, ты осмелился трактовать о нём, защищая его и выставлять как вероятное.

Ее служит тебе в оправдание и дозволение к печати, которое ты исторг искусством и хитростью, ничего не сказав о данном тебе повелении.

А так как казалось нам, что ты не высказываешь всю истину относительно побуждений твоих, то мы нашим необходимым прибегнуть к строгому испытанию (ad rigorosum examentum — к пытке), на котором ты — помимо того, в чём сознался и что выше доказано относительно твоих побуждений — отвечал католически¹.

¹ Приведём в связи с этим местом выдержку из «Истории физики» Любимова: «Для ясного уразумения приговора надлежит иметь в виду процедуру инквизиционного суда. Обвинение Галилея сложилось из двух частей. Во-первых, обвинение в непослушании, в нарушении данного Галилею в 1616 г. повеления; во-вторых, обвинение по подозрению в ереси. Первая часть обвинения в случае осуждения могла вести к тюремному заключению на более или менее продолжительное время и церковной эпитимии. Несравненно важнее по последствиям второе обвинение: наказание уличенного и упорствующего еретика — костёр, или, по условному инквизиционному выражению, передача светской власти. Обвинение по подозрению в ереси было двоякого рода: лёгкое подозрение — *suspicio levis haeresos* — и сильное подозрение — *suspicio vehemens haeresos*. Обвинение Галилея было по второй категории. Судебная процедура в том и другом случае была такова. По установлении фактов, дающих повод к подозрению, обвиняемый допрашивается относительно его побуждений и убеждений. Если обвиняемый признаётся, что руководился еретическими убеждениями, то, понятно, судится, как уличённый еретик. Если, напротив того, отрицает еретичность своих убеждений и упорствует в утверждении, что установленные следствием деяния его не имели источником своим еретических мнений, то процедура в случае *suspicio de levi* (лёгкого подозрения) и в случае *suspicio de vehementi* (сильного подозрения) не одинакова. В первом случае пытка «вообще не употребляется». Отречение, состоящее в осуждении ереси и исповедании правого мнения, является достаточным очищением. В случае *suspicio vehemens* пытка, означавшаяся термином *examen rigorosum*, представляется необходимым условием допроса (о побуждении). Пытка могла не применяться и не сопровождать *examen rigorosum*, разве по особой милости суда — в случае болезни, старости.

Если обвиняемый и на пытке подтвердит, что он не виноват в ереси (это выражалось термином: если ответит католически «se respondere catholicamente»; «si catholice respondeat et haeticam incutionem neget»), то он допускается до отречения, очищающего его от подозрения.

Так и было в процессе Галилея. Настойчивость, с какою Галилей заявлял, что он не держится и не держался, после приказания, учения Коперника, была необходима, чтобы дело могло ограничиться простым очищением чрез отречение».

(Другими словами, Галилей не сошёл с запятой пм на процессе позиции и не признал себя сознательным еретиком, чего добивалась инквизиция и что привело бы к полному разгрому задуманного им дела.) Посему, рассмотрев и зрело обсудив все стороны твоего дела, вместе с признаниями и оправданиями твоими и всеми другими обстоятельствами, по праву подлежащими рассмотрению и обсуждению, пришли мы относительно тебя к нижеописанному окончательному приговору.

Призвав святейшее имя господя нашего Иисуса Христа и пречестные матери его приспосовы Марии, сим окончательным приговором, состоявшимся в заседании суда, по совещании с досточтимыми магистрами богословия и докторами прав, консультантами нашими относительно показаний, представленных на судеговорении в присутствии нашем, — с одной стороны, Карлом Синцером, доктором прав, фискал-прокурором сего священного трибунала, с другой — тобою, Галилеем Галилеем, здесь присутствующим, обвинённым, уличённым согласно вышеописанному, — мы провозносим, присуждаем и объявляем тебя, Галилея, вследствие обнаружившегося на суде и твоих признаний, *сильно заподозреваемым в ереси*, а именно в том, что ты разделял и поддерживал ложное, противное св. писанию учение, будто солнце есть центр земной орбиты и не движется с востока на запад, а движется земля, которая есть центр мира, — и разделял и защищал как вероятное это мнение, после того, как оно было объявлено противным св. писанию. И, следовательно, ты подлежишь всем *цензурным наказаниям, кои священными канонами и иными общими и частными постановлениями против нарушителей такого рода постановлены и обнаружены*; нам угодно, однако, освободить тебя от сих, под условием, что ты прежде с чистым сердцем и правую меру отречеши от вышеприведённых заблуждений и ересей и от всяких других заблуждений и ересей, противных католической и апостольской римской церкви, проклянешь их и отвернешься от них по формуле, нами тебе преподанной.

Но дабы тяжёлое и губительное заблуждение твоё в вина, тобою сделанная, не остались совсем безнаказанными и ты впредь был осмотрительнее, а также в пример другим, да остерегутся от подобных прегрешений, приказываем, чтоб книга «Диалогов» Галилея была опубликованным распоряжением воспрещена, а тебя присуждаем к тюремному заключению при сём трибунале на срок по нашему усмотрению и налагаем на тебя, как спасительную эпитимию, прочтение еженедельно, в течение трёх лет, семи покаянных псалмов, сохраняя за нами право смягчить, изменить или и совсем сложить упомянутые наказания и эпитимии.

Так говорим, возвещаем, сим приговором объявляем, постановляем, присуждаем с соблюдением в сей и всякой иной лучшей форме, как по праву можем и должны.

Так объявили мы, нижеподписавшиеся кардиналы». (Следуют подписи).

22 июня Галилей был привезён в доминиканский монастырь св. Марии, где и состоялось отречение. Формула отречения гласила:

«Я, Галилео Галилей, сын покойного Винченцо Галилея из Флоренции, 70-ти лет, самовольно поставленный перед судом, преклопив колена пред их эмиссиями, досточтимыми кардиналами генерал-инквизиторами против еретической злобы во всём христианском мире, имея пред глазами святое евангелие, коего касаюсь собственными руками, клянусь, что всегда веровал, ныне верую и с помощью божьей впредь веровать буду во всё, что святая католическая и апостольская римская церковь за истинное приемлет, что проповедует и чему учит. Но так как я — после того, как мне от сего судилища сообщено было повеление, чтобы совсем оставил ложное мнение, будто солнце есть центр мира и неподвижно, земля же не центр и движется, и чтобы не смел держаться такого ложного мнения, не защищал его и не преподавал какому-либо способу или писанием, и после того, как мне указано было, что учение то противно священному писанию, — написал и напечатал книгу, в которой излагаю это осуждённое уже учение и привожу с пастойчивостью аргументы в его пользу, не давая опровержения оных, то подвергся посему суду, как сильно заподозренный в ереси, а именно, что держусь мнения и верю, будто солнце — центр мира и недвижно, земля же движется. Желая изъять из умов ваших эмиссий и всякого христианина-католика сле сильное, справедливо возникшее против меня подозрение, я с чистым сердцем и верою не ложною отрекаюсь от упомянутых заблуждений и ересей, проклинаю их и отверщаюсь от них и вообще от всяких заблуждений и сект, противных сказанию святой церкви. Клянусь, что в будущем ни устно, ни письменно не выскажу чего-либо способного возбудить против меня подобное подозрение. И если узнаю какого-либо еретика или внушающего подозрение в ереси, не премину довести о нём священному судилищу или инквизитору и ординарию того места, где буду находиться. Клянусь, кроме того, и обещаю все эпитимии, наложенные на меня, или кои будут наложены, с точностью исполнять и соблюдать. А если, сохраняя бже, совершу что-либо противное сим моим обещаниям, протестациям и клятвам, то подлежу всем наказаниям и казням, кои священными канонами и другими общими и частными постановле-

ниями постановлены и обнародованы против такого рода парашютистов. Да поможет мне бог и святое его евангелие, коего касаюсь руками.

В удостоверение того, что я, Галилео Галилей, как выше приведено, отрёкся, обещал и обязал себя, я собственноручно подписал сей акт и от слова до слова прочел его в Риме, в монастыре Милервы сего 22 июня 1633 года».

После
процесса.

Легко представить душевное состояние Галилея, произносящего эти позорные слова перед людьми, вся кровавая свора которых не стоила одного волоса с головы великого учёного. Можно удивляться душевной мощи и целеустремлённости Галилея, который после стольких физических и моральных потрясений в преклонных годах с расшатанным здоровьем продолжает до заката своих дней своё великое дело.

Одной из первых забот Галилея была забота о сохранении своих рукописей от духовных варваров. В посвящении к своему главнейшему сочинению «Discorsi», вышедшему в Голландии в 1638 г., Галилей так говорит о своих планах:

DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,

intorno à due nuove scienze

Attinenti alla

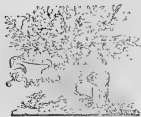
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI,

del Signor

GALILEO GALILEI LINGEO.

Filosofo e Matematico primario del Serenissimo
Grand Duca di Toscana

Con una Appendice del centro di gravità d'alcuni Solidi



IN LEIDA,

Appresso gli Elsevirii M. D. C. XXXVIII

Рис. 66. Титул «Бесед».

«... Я, как Вам известно, смущённый и напуганный несчастной судьбою других моих сочинений, принял решение не выпускать более публично своих трудов и, чтобы не оставлять их вовсе под спудом, сохранять лишь рукописные копии таковых в месте, доступном, по крайней мере, для лиц, достаточно знакомых с трактуемыми мною предметами».

Далее Галилей рассказывает, как произошла передача рукописи «Discorsi» французскому послу графу де Ноайль, лицу, которому адресовано посвящение:

«Для этой цели, воспользовавшись проездом Вашим с посольством на обратном пути из Рима, я имел честь приветствовать Вас лично, как уже неоднократно делал письменно, и при этой встрече передал Вам копию настоящих двух к тому времени уже готовых трактатов, которые Вы благосклонно одобрили и согласились беречь в сохранности, а также ознакомить с ними некоторых Ваших друзей во Франции — людей, сведущих в таких науках, показав тем, что я хотя и молчу, но провожу жизнь не совсем праздно. После того я вознамерился приступить к изготовлению других копий для рассылки их в Германию, Францию, Испанию и некоторые места Италии».

Как видим, немощный, потерявший зрение старик, отнюдь не сдался. Он продолжает в глубоком подполье борьбу со своими противниками и завершает дело своей жизни созданием замечательных «Discorsi» («Беседы и математические доказательства о двух новых науках»). Эта книга является вершиной научного творчества Галилея. Основы механики, акустики, молекулярной физики и учения о сопротивлении материалов — таково содержание этой изумительной книги. Аристотелевская физика была окон-

чительно добита этим сочинением. Характерно, что перипатетик Симпличио в этой книге оказывается окончательно подавленным мощью математических и экспериментальных доказательств, выступает всё реже и реже и, наконец, совсем сходит со сцены, сознавшись в своём бессилии разобраться в трактуемых вопросах.

Галилей не разоружился и в отношении астрономических воззрений.

Лишённый возможности, и вследствие строгого запрещения и вследствие потери зрения, заниматься астрономией, Галилей в нескольких высказываниях в переписке попрежнему бичует ничтожество космологических представлений своих противников. Характерна запись Галилея на полях книги Берти «Коперник»:

«Это Вы порождаете ереси, когда без основания... требуете, чтобы учёные отрелись от своих чувств и неопровержимых доказательств». Немудрено, что такие высказывания, становившиеся известными друзьям Галилея, были облечены в крылатое изречение «А всё-таки она вертится».

Выход из печати «Discorsi», явившийся неожиданным подарком Галилею со стороны его друзей, был последним радостным событием его жизни. Силы оставляли его. 8 января 1642 г. Галилей скончался. Кроме сына, невестки и двух учеников — Вивiani и Торичелли — у смертного одра присутствовали два представителя инквизиции, не оставившей Галилея и после смерти.

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ НАУКИ

В предыдущих главах было показано, как, начиная с эпохи раннего Возрождения, развёртывался штурм старых, схоластических концепций. Героическая борьба Галилея завершилась триумфом нового мировоззрения, новой научной мысли, обогатившейся такими шедеврами, как «Dialogo» и «Discorsi». Однако решающий удар схоластическому мировоззрению в целом был нанесён современниками Галилея — Бэконом и Декартом. Они не только подвергли уничтожающей критике схоластику, но и противопоставили ей новые философские и методологические принципы. Необыкновенная плодотворность этих принципов подтвердилась бурным ростом естествознания, передовые деятели которого находились под влиянием этих великих мыслителей. Более того, в истории науки стало почти ходячим мнением, что борьба двух методологических линий, идущих от Бэкона и Декарта, наполняет содержание всего классического периода развития естествознания. Ограниченность разработанных ими теоретических основ выяснилась только на современном этапе развития науки.

Бэкон.

Хронологически изложение истории разработки новых теоретических основ науки следует начать с Бэкона.

Эпоха, в которую жил и действовал Бэкон, может быть охарактеризована эпитетом «предгрозовая». Это была эпоха, когда молодая английская буржуазия стала осознавать свою силу и значение и начинала решительную борьбу с абсолютизмом и феодальными пережитками, борьбу, переросшую в революционную войну. Вместе с укреплением могущества и влияния буржуазии росло и крепло английское национальное государство. Разгром испанской «непобедимой Армады» в 1588 г. знаменовал наступление эры морского могущества Англии. Была ликвидирована величайшая опасность национальному развитию Англии, что не могло не способствовать и действительно способствовало развитию национального самосознания. Апостолами этого самосознания были представители тех классов, которые возглавляли борьбу с феодально-католической реакцией Филиппа II, т. е. представители буржуазии и новых землевладельцев — джентри. Почувствовав свою силу и влияние, они активно стали вмешиваться в дела государственного управления и особенно остро реагировали на попытки Стюартов возродить на английской почве абсолютизм. Борьба с этими антинациональными, реакционными претензиями королевской власти, начатая при первом Стюарте Якове I (1603—1625) и при сыне последнего Карле I, переросла в революционное восстание.

В этот напряжённый период Бэкону пришлось стоять у кормила государственного управления. Государственная деятельность его и отчётливо проступающий во всей его линии поведения карьеризм были предметом неоднократного осуждения. Но Бэкон не был худшим представителем

эпохи, а, наоборот, были типичным её деятелем. Карьеризм, неразборчивость в средствах для достижения поставленной цели, вплоть до вероломства, не были результатом только дурного характера Бэкона. Такие люди, как Бэкон, не могли не сознавать крайней непрочности карьеры при королевском дворе в условиях могучего роста оппозиции, а психология временщика довольно стандартна: «после нас хоть потоп». Но Бэкон занимал особенно противоречивую позицию в великом споре короля и нации. Как передовой сын своего времени, он хорошо понимал его запросы, и его философия направлена на укрепление позиций нового господствующего класса — буржуазии. В качестве придворного лордканцлера он действовал как враг нации и подвергся справедливому осуждению¹.



Бэкон.

Эта противоречивость воззрений и линии поведения давала повод для противоречивых оценок Бэкона. Так, например, знаменитый французский философ и математик Даламбер в предисловии к «Энциклопедии» говорит:

«... в то время, как противники, невежественные или неблагонамеренные, открыто воевали с философией, она нашла, так сказать, убежище в сочинениях нескольких великих людей, которые, не обнаруживая опасного честолюбия сорвать повязку с глаз современников, издали, в тени и молчании, готовили свет, долженствовавший осветить мир мало-помалу, незаметными ступенями.

Во главе этих знаменитых людей надлежит поставить бессмертного канцлера Англии Франциска Бэкона, творения которого, справедливо почитаемые, — более, Впрочем почитаемые, чем известные, — заслуживают ещё более нашего чтения, чем наших похвал. Здравые и широкие воззрения этого великого человека, обилие предметов, занимавших его ум, смелость его стиля, соединяющего возвышеннейшие образы со строжайшей точностью, дают нам повод видеть в нём величайшего единственного и самого красноречивого из философов.

¹ Даём краткую биографическую справку о Бэконе. Сын лорда хранителя печати Николая Бэкона, Франциск Бэкон родился 21 января 1566 г. Учился в Кембридже, затем в Париже, подготавливая себя к юридической деятельности. Вернувшись после смерти отца на родину, он занимается частной юридической практикой. Протекция фаворита королевы Елизаветы графа Эссекса открывает ему путь к государственной карьере, и он получает место королевского стряпчего. В качестве последнего он составил обвинительный акт против своего покровителя, графа Эссекса, когда последний впал в немилость. Более того, при последующем обвинении Эссекса в государственной измене королевский стряпчий Фр. Бэкон поддерживал обвинение. Эссекс был казнён, а после его казни Бэкон составил «Объяснение о кознях и изменах Роберта графа Эссекса». Карьера Бэкона развивается быстрыми темпами после вступления на престол Якова I Стюарта (кстати сказать, Эссекс и был казнён по обвинению в сношениях с Яковом). В 1604 г. он — член тайного совета, в 1615 г. — генерал-адвокат, в 1618 г. — лорд-канцлер, в 1621 г. — барон Веруламский. В том же 1621 г. парламент, созданный для рассмотрения финансовых претензий короля, проявил резкое недовольство политикой правительства и лорд-канцлера. Парламентская комиссия установила факт взяточничества со стороны Бэкона. Бэкон был отставлен, осуждён к заключению в Тоуэр и к уплате штрафа в 40 000 фунтов. Король смягчил приговор, и в 1624 г. его любимец получает прощение. Однако к государственной деятельности Бэкон не возвратился и умер частным лицом 9 апреля 1626 г.

В качестве противоположного примера приведём отзыв автора «Истории умственного развития Европы» Дрэпера. Любопытно, что он, так же как и Даламбер, начинает с борьбы реакции и новой философии, но оценивает место Бэкона в этой борьбе совершенно по-иному.

«Эта сильная, но конвульсивная решимость церкви защитить себя не осталась без последствий. Она помогала ей сдерживать трусов, угодников времени и людей поверхностных. К числу их принадлежал лорд Бэкон... Он настолько же содействовал развитию современной науки, насколько изобретатель теллурия способствовал открытию механизма мира... Пора разделить священное имя философии от имени претендента на науку, низкопоклонного политика, бесчестного адвоката, подкупного судьи, вероломного друга, дурного человека».

Какая же из этих противоречащих друг другу оценок более справедлива?

Чтобы получить ответ на этот вопрос, надо уяснить всё сделанное Бэконом для науки. С этой целью мы должны обратиться к рассмотрению его сочинений и, в первую очередь, главного его сочинения «*Novum Organum*» («Новый Органон»), вышедшего в 1620 г. По мысли Бэкона, это сочинение должно было явиться второй частью задуманного им большого сочинения «*Instauratio magna*» («Великое восстановление»), в котором он задумал дать энциклопедию науки на новой методологической основе.

Изложению своей методологии Бэкон предпосылает унытожающую критику схоластической науки. Критика Бэкона указывает на ясное понимание им задач своего времени. Старая наука осуждается Бэконом за её бесплодие, за её несоответствие возросшему опыту, за её отставание от развития техники и запросов жизни. Бэкон уподобляет старую философию Сцилле с привлекательными внешними частями и с чреслами, опоясанными цепью «лающих чудовищ»: «Так и обычные для нас науки показывают общие положения, привлекательные и благообразные, но если обратиться к частностям, как рождающим частям, чтобы они подали плоды и дела, то возникают прешпрательства и злобный лай споров, к которым они приходят и которые заменяют порождение плодов»¹.

Совсем иную картину даёт развитие техники: «В механических же искусствах мы наблюдаем противоположное: они, как будто восприняв какое-то живительное дуновение, с каждым днём возрастают и совершенствуются». Прогрессу техники нет предела: «...скорее прекратятся и изменятся стремления и желания людей, чем эти искусства достигнут до предела своего совершенствования». Бэкон ясно осознаёт, что этот непрерывный технический прогресс нуждается в солидной научной базе, что



Рис. 67. Титул «Нового органа».

¹ Здесь и далее см. Бэкон, Новый Органон, Соцэкгиз, 1938.

должен быть научно обобщён возросший опыт людей. Нельзя удовлетвориться обобщениями античной и средневековой науки, «ибо в наше время становятся известными многие части Нового Света (т. е. Америки) и самые отдалённые части Старого Света и до бесконечности разрослась гряда опытов». Было бы постыдным для людей, — заявляет Бэкон в другом месте, — «если бы границы уместившегося мира оставались в тесных пределах того, что было открыто древними, тогда как в наши времена неизмеримо расширились и приведены в известность пределы материального мира, т. е. земель, морей, звёзд».

Бэкон не ограничивался констатацией несоответствия теории и практики. Он останавливается и на причинах плохого преусиивания теоретических наук. Эгих причин Бэкон насчитывает двенадцать.

1) Крайне молодой возраст науки: из двадцати пяти веков ее существования было благоприятных для ее развития не более шести веков.

2) Пренебрежение философией природы (т. е. естествознанием), этой, по выражению Бэкона, «великой матерью наук», в средневековый период господства теологии и мракобесия. Время её расцвета у греков было непродолжительным, у римлян её место заняла моральная философия и политика, а в эпоху теологии она заняла место ее служанки. «Но пусть никто не ждёт от наук большего движения вперед, особенно в их действительной части, если естественная философия не будет доведена до отдельных наук или же если отдельные науки не будут возвращены к естественной философии».

3) Неправильно поставленная цель наук. Ставятся крайне абстрактные недостижимые цели. «Подлинная же и надлежащая мера наук не может быть другой, чем наделение человеческой жизни новыми открытиями и благами».

4) Неправильно выбран метод. «Ни у кого из смертных не было заботы и попечения о том, чтобы открыть и проложить дорогу человеческому разуму *при помощи самого чувства* и приведённых в порядок и хорошо построенных *опытов*, но всё было предоставлено или мраку преданий, или круговращению силлогизмов, или случайности и произволу смутного неупорядоченного опыта».

5) Большой помехой научному прогрессу был также предрассудок, тесно связанный со всей старой методологией, «... что достоинство человеческого разума будет умалено, если он долго и много будет обращаться к опыту и частным вещам, подлежащим чувству и определённым в материи, тем более что вещи этого рода требуют прилежного искания и они слишком низменны для того, чтобы о них размышлять, слишком грубы, чтобы о них говорить, слишком не изящны для того, чтобы ими пользоваться, бесконечны количеством и недостаточны совершенством».

6) Благоговение перед древними авторитетами и непонимание духа времени. «Высшее малодушие состоит в том, чтобы воздавать бесконечно много авторам, а у времени — у этого автора авторов и источника всякого авторитета — отнимать его права. Ибо правильно называют истину дочерью Времени, а не Авторитета».

7) Восхищение уже достигнутыми результатами: изобретениями, обилием книг, деятельностью алхимиков и магов. Бэкон указывает, что изобретения покоятся на слабом научном фундаменте и еще очень незначительны и бедны. Работы алхимиков и магов неизвестно чего больше достойны — «смеха или слёз». Всё же Бэкон признаёт за алхимиками ту заслугу, что они наподобие сыновей старика, завещавшего им золото, зарытое в винограднике, в бесплодных поисках вскопали почву и сделали урожай более обильным. Суеверная магия и религия могли создать только иллюзии. «Отсюда

неудивительно, если мнение о богатстве этих наук и явилось причиной их бедности».

8) «Но еще больше нанесла наукам вреда мелочность и ничтожность тех задач, которые ставит перед собой человеческая деятельность». Наука не ставит широких задач, создает узкие, односторонние системы и все, не укладывающееся в эти системы, объявляет невозможным для познания. Пренебрегают связью вещей и сосредоточивают внимание на частных проблемах. «Всё это, если рассмотреть более тщательно, составляет несправедливую оценку человеческих сил и ведёт к надуманному и искусственному отчаянию, которое не только опрокидывает обнадёживающие предзнаменования, но и подбуждает все побуждения и стремления к деятельности и уничтожает всякую возможность успеха самого опыта».

9) Наличие такого противника, как «суеверие и слепое неумеренное религиозное рвение». Это играло роль и в древности, но особенно сильно сказалось в христианские времена. «Более того, по теперешнему положению дел условия для разговора о природе стали более *жестокими и опасными* по причине учения и метода схоластов. Ибо схоласты не только в меру своих сил привели теологию в порядок и придали ей форму науки, но вдобавок добились того, что строптивая и колючая философия Аристотеля смешалась, более чем следовало, с религией». Кроме того, «опасаясь, как бы движения и изменения философии не стали бы примером для религии и не положили бы ей конец». Сам Бэкон стоит на почве признания двух истин.

10) Догматическое преподавание в университетах, школах, академиях и т. д. «оказывается противным движению наук вперёд». «В науках же и искусствах, как в рудниках, всё должно шуметь новыми работами и дальнейшим продвижением вперёд».

11) Наука не поощрялась. «Плата и награда за науки зависят от толпы или от знатных мужей, которые (за редкими исключениями) едва ли достигали средней учёности... Поэтому несколько не удивительно, если не преусневало то, что не было в почёте».

12) «Однако величайшим препятствием на пути движения наук и работы над новыми задачами и в новых областях бесспорно оказывается отчаяние людей и допущение существования Невозможного. Даже разумные и твёрдые мужи совершенно отчаиваются, когда они размышляют о непонятности природы, о краткости жизни, об обмане чувств, о слабости суждения, о трудностях опытов и о тому подобном».

Глубокая и блестящая критика старой науки, вдумчивый анализ причин её отставания, ясное и правильное понимание новых задач оправдывают приводимое ниже мнение Даламбера о Бэконе.

«Рождённый в недрах глубочайшей ночи, Бэкон сознал, что философии ещё нет, хотя немало было людей тщеславившихся тем, что они в ней блистают... В своём «Новом Органоне» он... указал необходимость экспериментальной физики, о какой ещё не думали. Враг систем, он видел в философии ту часть нашего званья, которая должна содействовать тому, чтобы сделать нас лучшими и более счастливыми... Он приглашает учёных изучать и усовершенствовать искусства, на которые он смотрит, как на высшую и существенную часть человеческого знания».

Задачу новой методологии Бэкон усматривает в оказании Метод Бэкона. разуму помощи в извлечении правильных закономерностей из наблюдений над реальной действительностью. Что такая помощь необходима, подтверждается анализом заблуждений или «призраков», свойственных человеческому разуму. Этих «призраков», Бэкон насчитывает четыре: 1) «Призраки Реда», 2) «Призраки Пещеры», 3) «Призраки Рынка», 4) «Призраки Театра».

«Призраки Рода» коренятся в самой природе человека, в природе его ума. Так, ум человеческий склонен предполагать в вещах более порядка и единообразия, чем их находит в действительности: «в то время как многое в природе единично и совершенно не имеет себе подобия, он придумывает параллели, соответствия и отсечения, которых нет». Далос, разуму свойственна особая инерция, в силу которой он с трудом уступает фактам, противоречащим сложившимся убеждениям. Вообще «уму человеческому постоянно свойственно то заблуждение, что он более поддаётся положительным доводам, чем отрицательным». Разум склонен более отзываться на эффекты, а не на малозаметные явления: «На разум человеческий больше всего действует то, что сразу и внезапно может его поразить... Обращаться же к далёким и разнородным доводам, посредством которых аксиомы испытываются, как бы на огне, ум вообще не склонен и неспособен, пока этого не предпринянут ему суровые законы и сильная власть». Мешает также «жадность» человеческого разума, не позволяющая ему остановиться и влекущая его всё дальше и дальше — «к конечным причинам, которые имеют своим источником скорее природу человека, нежели природу вселенной». Личные вкусы и желания также препятствуют познанию истины. «Человек скорее верит в истинность того, что предпочитает». Но более всего в деле познания истины вредит косность, несовершенство чувств. «Остаются скрытыми более тонкие перемещения частей в твёрдых телах». Наконец, «ум по природе своей стремится к отвлечённому и текучее мыслит, как постоянное».

«Призраки Пещеры» обусловлены индивидуальными особенностями человека, его воспитанием, привычками, его «пещерой». Они заключаются в односторонности отдельных умов. Одни «склонны к почитанию древности, другие охвачены любовью к восприятию нового. Но немногие могут соблюсти такую меру, чтобы и не отбрасывать то, что правильно положено древними, и не пренебречь тем, что правильно приписано новым». Одни мыслят природу и тела синтетически, другие — аналитически. «Эти созерцания должны чередоваться и сменять друг друга с тем, чтобы разум сделался одновременно проникательным и восприимчивым».

«Призраки Рыка» обусловлены общественной жизнью, неправильным словоупотреблением. «Плохое и нелепое установление слов удивительным образом ослепляет разум. Большая же часть слов имеет своим источником обычное мнение и разделяет вещи по линиям, наиболее очевидным для разума толпы. Когда же более острый разум и более прилежное наблюдение хотят пересмотреть эти линии, чтобы они более соответствовали природе, слова становятся помехой. Отсюда и получается, что громкие и торжественные диспуты учёных часто превращаются в споры относительно слов и имён, а благоразумнее было бы (согласно обычаю и мудрости математиков) с них начать для того, чтобы посредством определений привести в порядок».

«Призраки Театра» — «не врождены и не проникают в разум тайно, а открыто передаются и воспринимаются из вымышленных теорий и их превратных законов доказательств». Существо этих «призраков» — ослепление ложными теориями, предвзятыми гипотезами и мнениями. Бэкон расчленил заблуждения этого типа на три: софистику, эмпирику и суеверие. К первой группе относятся философы (к ним Бэкон причисляет и Аристотеля), которые из тривиальных фактов силою размышления хотят получить все выводы. Другие вращаются в кругу ограниченных опытов и из них выводят свою философию, подгоняя под неё всё. И, наконец, третий род философов, которые под влиянием веры и почитания примешивают к философии богословие и предания.

Этот меткий и тонкий анализ трудностей мыслительной работы не утратил своего значения и по настоящее время.

Бэкон — этот «родоначальник английского материализма» — из своего анализа природы человеческих заблуждений отнюдь не делает пессимистического вывода о невозможности познания объективной действительности. Наоборот, «мы строим в человеческом разуме образец мира таким, *какое он оказывается*, а не таким, как подскажет каждому его мышление», — говорит он. В возможности построения такого правильного образца мира нас убеждают практические результаты науки. Но он предостерегает и от узкого практицизма, говоря, что наука нуждается не столько в «плодоносных», сколько в «светоносных» опытах. С надёжной помощью метода разум способен открывать истинные «формы» природы, т. е. законы, управляющие течением явлений.

Каковы же основания этого метода?

В основу познания Бэкон кладёт опыт и именно опыт, а не первичное наблюдение. «Подобно тому, как и в гражданских делах, дарование каждого и скрытые черты души и душевных движений лучше обнаруживаются тогда, когда человек подвержен невзгодам, чем в другое время, таким же образом и скрытое в природе более открывается, когда оно подвергается воздействию механических искусств, чем тогда, когда оно идёт своим чередом». Те, кто должен быть подвергнут рациональной обработке.

Те, кто занимались науками, были или эмпириками, или догматиками. Эмпирики, подобно муравью, только собирают и пользуются собранным. Рационалисты, подобно пауку, из самих себя создают ткань. Пчела же избирает средний способ, она извлекает материал из цветов сада и поля, но располагает и изменяет его собственным умением. Не отлучается от этого и подлинное дело философии. Ибо она не основывается только или преимущественно на силах ума и не откладывает в сознание петронутый материал, извлекаемый из естественной истории и из механических опытов, но изменяет его и перерабатывает в разуме. Итак, следует возложить добрую надежду на более тесный и нерушимый (чего до сих пор не было) союз этих способностей опыта и рассудка.

«Союз опыта и рассудка» — таков исходный пункт методологии Бэкона. Разум должен ощипать опыт и извлечь из него плоды в виде законов природы, или, как выражается Бэкон, «форм». Этот процесс совершается индукцией. Разум не должен воспарить от частных фактов к общим всеобъемлющим законам, из которых потом дедуктивным путём получались бы следствия. Наоборот, «человеческому разуму надо придать не крылья, а скорее свинец и тяжести, чтобы они сдерживали всякий прыжок и полёт». «Для наук... следует ожидать добра только тогда, когда мы будем восходить по истинной лестнице, по непрерывным, а не развёрстым и перемежающимся ступеням — от частных к меньшим аксиомам и затем — к средним, одна выше другой, и, наконец, к самым общим. Ибо самые низкие аксиомы немногим отличаются от голого опыта. Высшие же и самые общие аксиомы (какие у нас имеются) умоизрительны и отвлечённы и у них нет ничего твёрдого. Средние же аксиомы истинны, твёрды и жизненны, от них зависят человеческие дела и судьбы. А над ними, наконец, расположены наиболее общие аксиомы, не отвлечённые, но правильно ограниченные этими средними аксиомами».

Процесс наведения или индукции этих средних аксиом не заключается в простом перечислении. Из того, что тот или иной факт станет повторяться в n случаях, ещё не следует, что он повторяется и в $n+1$ -ом случае. Индукция — это более сложный аналитический процесс: «должно разделить природу посредством должных разграничений и исключений».

Основным критерием правильности полученного результата будет практика, тот же опыт. «Наш путь и наш метод... состоит в следующем: мы извлекаем не практику из практики и опыт из опытов (как эмпирики), а причины и аксиомы из практики и опытов, и из причин и аксиом — снова практику и опыты, как верные Истолкователи Природы».

«Истина и полезность суть... совершенно одни и те же вещи. Сама же практика должна цениться больше, как залог истины, а не из-за жизненных благ».

Эти положения Бэкона стали краеугольными камнями здания новой науки. Однако Бэкон не сумел должным образом понять диалектику движения понятий и попытался чисто механически анализировать этот процесс. Правильно указав, что индукция заключается не в простом перечислении, он сам пошёл по пути перечисления возможных групп фактов, или, как он выражался, «указующих примеров», помогающих разуму в его аналитической работе. Было бы утомительно перечислять все эти двадцать четыре группы. «Преимущественных примеров» Бэкона с их двестию названиями. Отметим, что одно из этих названий «Примеры креста» под латинским именем «experimentum crucis» прочно вошло в науку со времени Ньютона. Так называются теперь решающие опыты, позволяющие выбрать между двумя борющимися теориями одну, более адекватную фактам. Бэкон считал возможным обучить любой ум процессу научной индукции и расписать этот процесс по таблицам. Сначала, по Бэкону, надо свести все факты, в которых фигурирует изучаемое явление («Таблица положительных инстанций»). Затем надо подыскать аналогичные факты, в которых данное явление отсутствует («Таблица отрицательных инстанций»). Сопоставлением таких таблиц будут исключены те факты, которые являются не существенными для данного явления, ибо оно может происходить без них, как показывает таблица отрицательных инстанций. Затем составляется таблица сравнений, показывающая, какую роль играет усиление одного фактора для данного явления. В результате такого анализа получается искомая «форма».

Оценка философии
Бэкона.

Таблица Бэкона и его «примеры» дают яркое представление об уровне научных знаний его эпохи. Сам Бэкон чувствует крайнюю недостаточность фактических знаний естественной истории его, Бэкона, времени и неоднократно сетует, что приходится ограничиваться предположениями и догадками. Но вместе с тем насколько поразительны догадки и предсказания Бэкона. «Ведь если каждое естественное действие совершается при посредстве самых малых частиц или, по крайней мере, слишком малых для того, чтобы поразить чувство, то пусть никто не надеется, что он сможет управлять природой или изменить её, пока должным образом её не поймёт и не узнает» — вот какое программное заявление делает Бэкон, — «лучше же всего подвигается вперёд естественное исследование, когда физическое завершается в математическом», «не существует ли... действительное время и кажущееся время так же, как действительное место и кажущееся место». Гипотеза о чрезвычайной скорости, по всё же конечности скорости света, правильный вывод о теплоте, как форме внутреннего движения, программа опытов по тяготению и многое другое являются примерами здравого и тонкого суждения. К этому надо добавить глубокие замечания Бэкона о коллективной научной деятельности, о необходимости учреждения особого «Дома Соломона», дома науки. Эти указания Бэкона явились исходным пунктом в организации научных обществ — «академий» (см. следующую главу). Бэкон был неутомимым глашатаем нового знания, влияние которого на последующие поколения учёных (в первую очередь в Англии) было мощным и

неоспоримым. Он с полным правом мог сказать: «что касается имени моего и памяти, то я предоставляю это благосклонному суждению людей, чужеземным народам и следующему веку». Вот как оценивает один из величайших деятелей следующего века — Маркс — заслуги Бэкона: «Истинным родоначальником английского материализма и вообще опытных наук новейшего времени был Бэкон. Естествознание является в его глазах истинной наукой, а физика, опирающаяся на свидетельство внешних чувств, — важнейшей частью естествознания. Анаксагор с его гомеомериями и Демокрит с его атомами часто приводятся им как авторитеты. По его мнению чувства непогрешимы и составляют источник всякого знания. Наука есть опытная наука и состоит в применении рационального метода к чувственным данным. Индукция, анализ, сравнение, наблюдение, эксперименты суть главные условия рационального метода. Первым и самым важным из приращённых свойств материи является движение, — не только как механическое и математическое движение, но ещё больше, как стремление, как жизненный дух, как напряжение, или, как выражается Яков Бёме, как мучение (Qual) материи. Первичные формы материи суть живые, индивидуализирующие, внутренне присущие ей, создающие специфические различия, существенные силы.

В Бэcone, как первом творце материализма, в наивной ещё форме скрыты зародыши всестороннего развития этого учения. Материя улыбается своим поэтическим чувственным блеском всему человеку. Но изложенное в афористической форме учение Бэкона ещё полно теологической непоследовательности»¹.

Огромное влияние на развитие теоретической мысли в физике оказал Декарт. По существу Декарта можно назвать первым теоретиком, поставившим ясную задачу интерпретировать наблюдаемые явления посредством соответствующих физических образов. Этим образом у Декарта является образ материального континуума — пространства. Всё, что совершается в природе, есть не что иное, как движения этого континуума.

Декарт родился 31 марта 1596 г. в городе Ляэ, департаменте Турень. В 1604 г. родители Декарта отдают ребёнка на воспитание в иезуитскую коллегию Ля Флеп. По окончании коллегии Декарт поступает на военную службу и в качестве военнопленного офицера путешествует по Европе, принимает участие в Тридцатилетней войне. Рассеянная жизнь не мешает Декарту предаваться философским размышлениям и прилежно изучать математику. В результате этих занятий Декарт критически пересматривает старую схоластическую философию и разрабатывает свой метод. Плодом этой напряжённой работы мысли является незаконченное сочинение «Правила для руководства ума», написанное им в двадцатых годах XVII в.

«Целью научных занятий, — говорит Декарт в первом из этих правил, — должно быть направление ума таким образом, чтобы он выносил прочные и истинные суждения о всех встречающихся предметах». Здесь важно указать «о всех». Декарт думает не о какой-либо отдельной науке, а о научной системе. «Тот, кто серьёзно стремится к познанию истины, — говорит он, — не должен избирать какую-нибудь одну науку, ибо все они находятся во взаимной связи и зависимости одна от другой...» В этом отношении замысел Декарта аналогичен замыслу Аристотеля, однако Декарт намерен «Аристотелеву философию опровергнуть и учить по своему мнению и вымыслу» (Момоносов). В раннем произведении Декарта уже содержатся основные черты его рационалистического метода.

¹ Маркс и Энгельс, Соч., т. III, стр. 157.

В 1629 г. Декарт переезжает в Голландию. Здесь, в этой стране, пережившей национально-освободительную революцию, в молодой буржуазной республике создались особенно благоприятные условия для развития наук и искусств. В XVII в. Голландия дала Рембрандта, Спинозу, Левенгука, Гюйгенса. Именно здесь Декарт рассчитывал найти необходимый покой для занятия философией. Во Франции при Ришелье трудно было рассчитывать на устранение от политических и религиозных влияний; в Европе бушевала Тридцатилетняя война, в Англии надвигалась революция.

Декарт был очень осторожным и скрытным. Закончив в 1633 г. свой трактат «Мир», он не решает его опубликовать после осуждения Галилея. «Я, — писал он учёному монаху Мерсенну, — сознаюсь, что если это учение (Декарт имеет в виду систему Коперника) ложно, то ложны и все основания моей философии, так как они взаимно опираются друг на друга. Это учение находится в такой тесной связи со всеми частями моей философии, что я не могу отказаться от него, не изуродовав совершенно всего остального». Поэтому Декарт предпочёл вовсе не печатать своего сочинения, чем выпустить его «изуродованным». Трактат был опубликован уже после смерти Декарта.

Однако Декарт продолжал разрабатывать свою систему, и в 1637 г. вышло его знаменитое «Рассуждение о методе» с приложениями: «Диоптрика, метеоры и геометрия». Это произведение Декарта имело характер революционного акта в науке и философии. Здесь впервые получили применение новые средства математического анализа в геометрии и оптике и провозглашены новые принципы научного мышления. Декарт подвергает критике все основания, на которых может покоиться система мировоззрения; сомневается в существовании всего сущего, пока, наконец, не находит, как ему кажется, абсолютный тезис: «Мыслю, следовательно, существую».

Этот тезис по существу субъективно-идеалистический: первичным, исходным является акт мышления. Поэтому философы-материалисты, современники Декарта (Гоббс, Гассенди), подвергли этот тезис уничтожающей критике. Но сам Декарт счёл возможным вывести из своего тезиса существование сначала бога, а затем и внешнего материального мира.

Дуализм Декарта, его непоследовательность нашли своё отражение и в созданной им системе, в которой идеалистические моменты переплетаются с общим материалистическим взглядом на природу. Признав существование внешнего мира, Декарт признал также, что этот мир может быть познан и описан с помощью простых и ясных представлений.

Требование простоты и ясности — основной принцип методологии Декарта. Поэтому в научной системе Декарта простота математических принципов играет первостепенную роль. Выводы из некоторых простых, очевидных принципов получаются логическим путем, путём рассуждений математического характера. В установлении исходных принципов и их проверке важную роль играет опыт.



Декарт.

Свой метод Декарт формулирует в виде четырёх правил: «Первое — никогда не принимать за истинное ничего, что я не познал бы таковым с очевидностью, иначе говоря, тщательно избегать опрометчивости и предвзятости и включать в свои суждения только то, что представляется моему уму столь ясно и столь отчётливо, что не даёт мне никакого повода подвергать их сомнению.

Второе — делить каждое из исследуемых мною затруднений на столько частей, сколько это возможно и нужно для лучшего их преодоления.

Третье — придерживаться определённого порядка мышления, начиная с предметов наиболее простых и наиболее легко познаваемых и восходя постепенно к познанию наиболее сложного, предполагая порядок даже и там, где объекты мышления вовсе не даны в их естественной связи.

И последнее — составлять всегда перечни столь полные и обзоры столь общие, чтобы была уверенность в отсутствии упущений». «Я буду отыскивать, — говорил он, — подвигаться в познании природы быстрее или медленнее, в зависимости от того, насколько я буду в состоянии производить опыты. Опыт даёт мне необходимый материал для исходных посылок, он же даёт проверку правильности выведенных заключений». Это высказывание Декарта является программным, именно так рисуется роль опыта в теоретической физике. Так же, как Бэкона можно считать основателем программы и метода экспериментальной физики, Декарта надо считать основателем программы и метода физики теоретической.

Вполне естественно, что принципы Декарта приводят его к аналитической геометрии и к геометризации физики. Стылевые числовые соотношения проще и общее геометрических; отсюда вытекает задача сведения такого чисто геометрического свойства, как положение точки в пространстве, к числовой характеристике; решая эту задачу Декарт создает аналитическую геометрию.

«Благодаря такому способу, — писал Декарт о своём «Способе представлять аналитически свойства геометрических образов», — я мог заимствовать всё лучшее в геометрическом анализе и в алгебре и исправить все недостатки одного при помощи другой».

Успехи нового метода в геометрии дали возможность Декарту «применить его с такой же пользой к разрешению трудностей в других науках».

В своём стремлении свести реальные вещи к наиболее простым и общим понятиям, он приходит к выводу об отождествлении материальности и протяжённости. Протяжённость — общее свойство всех вещей, его Декарт и объявляет единственным признаком материальности. Мир Декарта — это однородное пространство, или, что то же самое, — протяжённая материя: «тело, совершенно плотное и одинаково заполняющее всю длину, ширину и глубину того огромного пространства, посреди которого мы остановим наше мышление». Далее, все изменения, которые наблюдаются в этом пространстве, сводятся к единственному простейшему изменению — механическому перемещению. «Я знаю только одно движение, — говорит он, — это движение заключается в том, что тела переходят из одного места в другое, последовательно занимая все пространства, которые находятся между этими местами». Так Декарт приходит к механистическому материализму. «Дайте мне материю и движение, и я построю мир» — таково боевое знамя картезианской физики. Декарт ставит грандиозную задачу — всё объяснить из этих основных понятий. Для него животные подобны автоматам, и он серьёзно предлагает брать в плавание петуха для определения долгот. Его последователь врач Леруа «перенёс механическую конструкцию животного на человека, объявил душу *модусом тела*, а идеи —

механическими движениями»¹. Это было последовательное проведение картезианских принципов: «Леруа думал даже, что Декарт скрыл свое истинное мнение. Декарт протестовал»². Но эти обвинения Декарта в неискренности, в маскировке повторялись. Бог, который появляется у Декарта вместе с мыслящей душой, в дальнейшем устрояется из его физики. «Механический французский материализм берёт физику Декарта и откидывает его метафизику»³, и последовательные материалисты считали, что бог у Декарта фигурирует для маскировки, так же как и душа. Каковы бы ни были истинные намерения и воззрения Декарта (а к маскировке он действительно прибегал), его программа в области естествознания остается совершенно ясной; это программа механистического материализма.

... «Все... качества и формы неодушевленных тел можно объяснить, основываясь только на понятиях движения, величины, фигуры и расположения частиц материи», — писал Декарт. Последовательную разработку этой программы Декарт предпринял в своём основном сочинении «Принципы философии», в которое вошли мысли, содержащиеся в его более раннем трактате «О мире», или «Трактате о свете». Как уже было сказано, это раннее сочинение Декарт отказался публиковать, напуганный судьбой Галилея: «Я ни за что не хочу издавать сочинение, в котором церкви могло бы не понравиться хотя бы малейшее слово». В «Принципах философии» космологические представления Декарта скрыты под маской «вымысла» («фабло») о некоем воображаемом мире. Но эта уловка не помогла. Декарту пришлось ввязаться в дискуссию и подвергнуться яростным атакам со стороны протестантских богословов. Верный своему житейскому принципу: «Хорошо прожил тот, кто хорошо укрылся», Декарт принял решение покинуть Голландию, в которой сложилась для него неблагоприятная обстановка, и в 1649 г. по приглашению шведской королевы Христины переехал в Стокгольм. Переезд оказался для Декарта роковым: он простудился и умер 17 февраля 1650 г. от воспаления лёгких.

Система мира по Декарту.

Сущность научной программы Декарта раскрывается в его воззрениях на мир и его происхождение. Мир Декарта — это материальный континуум, протяжённая ма-

терия, или материальное пространство. Хотя этот мир создан богом, бог не принимает участия в его дальнейшем развитии, мир развивается по естественным законам. «Из одного того, что бог продолжает сохранять материю в одном и том же виде, следует с необходимостью то, что должны существовать известные изменения в её частях. Изменения эти, как мне кажется, нельзя приписать непосредственно действию бога, ибо это последнее неизменно. Поэтому я приписываю их природе. Правила, по которым совершаются эти изменения, я и называю законами природы».

Законы природы достаточны для того, чтобы понять не только совершающиеся в ней явления, но и её эволюцию. Декарт допускает, что природа была создана богом в виде первоначального хаоса её частей и их движений. Законы природы, однако, таковы, что они «достаточны, чтобы заставить части материи распутаться и расположиться в весьма стройный порядок. Придя благодаря этим законам сама собою в порядок, материя наша приняла бы форму весьма совершенного мира». Вот эти-то положения Декарта о единстве материального мира, о его развитии в силу собственных законов и дали возможность Энгельсу назвать Декарта, наряду со Спинозой, блестящим представителем диалектики в новой философии XVII в.

¹ Ленин, Философские тетради, 1947, стр. 29.

² Там же.

³ Там же.

Но отсюда ещё далеко до отождествления философии Декарта с философией диалектического материализма: как мы уже сказали, материализм Декарта — механистический. Кроме того, в философии Декарта имеет место теологическая непоследовательность. Он ещё не возвышается до идеи вечного материального мира, существующего и развивающегося в силу собственных законов: мир у Декарта создаётся богом. Наконец Декарту не удалось подняться до понимания мышления как высшей формы движения материи, и он оторвал мышление, дух от материального мира, оставаясь на позиции дуализма.

Но эти, вполне объяснимые условиями времени недостатки системы Декарта не умаляют её революционного значения. Декарт — первый автор космогонической гипотезы. Осн вной предпосылкой его космогонии является гипотеза о дробимости однородной материи на части, имеющие различную форму и величину. В процессе дробления и взаимодействия части материи видоизменяются и в конечном счёте могут быть разбиты на три класса — три группы элементов.

Первый элемент состоит из весьма малых частиц разнообразной формы, легко подвижных элемент. в огня. Они заполняют промежутки между всеми другими частицами. Второй элемент состоит из отшлифованных частиц круглой формы — это воздух. Наконец, наиболее крупные, медленно движущиеся частицы составляют элемент земли. Твёрдость и жидкость тел обусловлены подвижностью частиц. Почти неподвижные сгущённые частицы образуют т. ёрдые тела. Жидкие тела (к которым причисляется воздух и пламя) состоит из подвижных лёгких частиц. Чем более мелки и подвижны частицы, тем более жидким будет тело.

По космогонической гипотезе Декарта все эти частицы вначале двигались хаотически и были переменными также хаотически. Создав этот первичный хаос, с определённым количеством материи, бог в дальнейшем, так сказать, «самоустранился» и предоставил природе действовать по собственным законам. Эти законы, или «правила», установлены Декартом в его основном сочинении «Начала философии», вышедшем в свет в 1644 г.

«Первое правило состоит в том, что каждая часть материи по отдельности всегда продолжает оставаться в одном и том же состоянии до тех пор, пока встреча с другими частями не вызовет изменения этого состояния». Другими словами, первое правило представляет собой обобщённую формулировку закона инерции. Обобщение, по сравнению с галилеевско-ньютоновской формулировкой (см. гл. VII и VIII), заключается в том, что декартов закон инерции есть закон сохранения состояния. Состояние же частицы характеризуется её величиной (количество материи), формой, скоростью движения. Сам Декарт так поясняет своё первое правило:

«Иными словами, если частица материи обладает некоторой величиной, то она никогда не делается меньшей, пока её не разделит другие частицы; если эта частица кругла или четырёхугольна, она не изменит этой фигуры не будучи вынуждена к этому другими; если она остановилась в каком-либо месте, она не покинет его до тех пор, пока другие её оттуда не вытолкнут, и если она начала однажды двигаться, то продолжает это движение постоянно с равной силой до тех пор, пока другие её не остановят или не замедлят её движения».

«Второе правило, предполагаемое мною, заключается в следующем: когда одно тело сталкивается с другим, оно может сообщить ему лишь столько движения, сколько само одновременно потеряет, и отнять у него лишь столько, насколько оно увеличит своё собственное движение».

Таким образом второе правило представляет собой закон сохранения движения. Это первичная формулировка закона сохранения энергии. Для

того чтобы эта формулировка получила своё физическое содержание, необходимо определить значение количества движения, т. е. установить меру движения. Декарт полагал меру движения пропорциональной величине (массе) частицы и её скорости. Его мера, следовательно, совпадает с ньютоновской мерой количества движения — импульсом. Позднее Лейбниц выдвинул в качестве меры движения величину, пропорциональную произведению массы на квадрат скорости. Тогда возник знаменитый спор о двух мерах движения.

«В виде третьего правила я прибавлю, что хотя при движении тела его путь чаще всего представляется в форме кривой линии и что невозможно произвести, как это было уже сказано, ни одного движения, которое не было бы в каком-либо виде круговым¹, тем не менее каждая из частиц тела по отдельности стремится продолжать движение по прямой линии. Таким образом, их действие, т. е. склонность к движению, которой они обладают, отлично от их движения».

Законом этим дополняется первый закон, так что тело обладает способностью сохранять не только величину, но и направление скорости. Тем самым закон инерции получает вполне общую формулировку и, наряду с законом сохранения количества движения, образует красугольный камень физики Декарта. Осторожность, присущая Декарту, заставила его, как мы уже сказали, изложить свои космогонические идеи в виде вымысла («фабло») о воображаемом мире. Но рисунки, которыми изображаются уголки этого воображаемого мира, не оставляют сомнения, что речь идёт о реальной солнечной системе, о её развитии и о её связи с другими аналогичными мирами. Декарт полностью разделяет учение о множестве миров и гением своего ума рисует картину возникновения развития и сосуществования этих миров в таких чертах: из первоначального хаоса благодаря взаимодействию частиц образовались вихри, каждый из которых имеет свой центр. Непрерывное трение частиц друг о друга уплотняет их и дробит. Отшлифованные круглые частицы, находясь в непрерывном круговом движении, образуют материю «неба», раздробленные части выпираются к центру, образуя материю «огня». Этот огонь из тонких частиц, находящихся в бурном движении, и образует тела центральных светил: Солнца и других звёзд. Более массивные частицы вытесняются к периферии, сцепляются и образуют тела планет. Каждая планета увлекается своим вихрем в круговое движение около центрального светила. Поэтому Декарт

DISCOURS DE LA METHODE

Pour bien conduire la raison, & chercher
la verité dans les sciences.

PLUS

LA DIOPTRIQUE.

LES METEORES.*

ET

LA GEOMETRIE.

Qui font des essais de cete METHODE.



A LEYDE

De l'Imprimerie de J. AN MAIRE.

CLD I D C XXXVII.

Avec Privilege.

Рис. 68. Титул «Рассуждения
о методе».

¹ Отсутствие пустоты и наличие движения Декарт согласует с допущением циклического характера движений: частица перемещается в место, освобождённое следующей за ней частицей, эта — в место следующей и т. д. Место же, освобождённое первой частицей, занимает ей предшествующей. Учение о циклическом, вихревом характере движения однородной материи — важнейший элемент физики Декарта (см. ниже).

считает, что его учение не противоречит тезису о неподвижности Земли — ведь Земля неподвижна по отношению к влекущему её вихрю. Но эта уловка Декарта не помешала конгрегации индекса включить книги Декарта в индекс запрещённых. Далее Декарт полагает, что кометы, имея такую же структуру, как и планеты, принадлежат к переходящим, пограничным вихрям, переходя из одного мира в другой.

В своей физике и космогонии Декарт, исходя из представления о континууме, широко использует вместе с тем и образы атомистики. Однако частицы Декарта не являются неизменными атомами, они дробятся, шлифуются, меняют величину и форму. Астроном Джинс, выдвинувший в 20-х годах XX в. гипотезу о строении Солнца и звёзд в их внутренней части из плазмы, т. е. голых ядер атомов и электронов, признавался, что он не подозревал

об опережении его Декартом, учившим в 1644 г. о бурном движении солнечной и звёздной материи, дробящейся в результате этого движения на мельчайшие частицы.

Атомистика Декарта, таким образом, существенно отличается от атомистики древних и ближе подходит к современной атомистике. Характерно (о чём будет сказано подробнее в следующей главе), что и инерция частиц по Декарту зависит от их формы и скорости движения. Не случайно, что английский физик Дж. Дж. Томсон, обосновавший в 1881 г. концепцию полевой электромагнитной массы, счёл необходимым отметить заслуги Декарта.

В числе современников Декарта были и противники его системы, противопоставлявшие ей атомистику Эпикура. К числу их принадлежал французский философ-материалист (бывший однако священником) Пьер Гассенди (1592—1655).

Даровитый сын прованского крестьянина, Гассенди уже 16 лет сделался учителем риторики, а 19 лет профессором философии в Э. Позже он был настоятелем в Динь, около которого находилась его родная деревня, а в 1646 г. сделался профессором математики в Парижском университете. Болезнь заставила его вернуться в Динь; здесь он пробыл до 1653 г., затем снова вернулся в Париж, где и умер через два года от злокачественной лихорадки.

Уже в 1624 г. Гассенди выступил с сочинением, направленным против системы Аристотеля (*Exercitationes paradoxicae adversus Aristoteleos*), пять книг которого были им сожжены, не увидев света. В числе сожженных книг были книги, посвящённые изложению системы Коперника и учению Джордано Бруно о множестве миров.

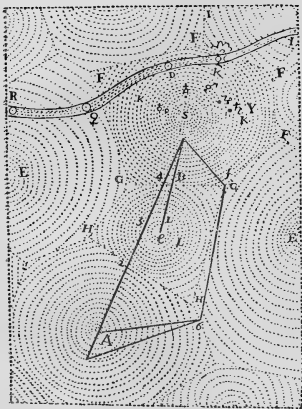


Рис. 69. Структура Вселенной по Декарту.

В дальнейшем Гассенди написал биографии Коперника и Тихо Браге. Католический священник не мог защищать открыто осужденное церковью учение Коперника, поэтому он формально признает систему Тихо. Однако Гассенди вместе с Галилеем подрывал учение о неподвижности Земли. По предложению Гассенди был проделан опыт с бросанием камня вверх на движущемся корабле: камень вернулся на место бросания. Сброшенный с верхушки мачты корабля, камень упал к её основанию, несмотря на быстрое движение корабля.

В своей философской системе и физике Гассенди отправлялся от Эпикура, изложению учения которого он посвятил сочинение «О жизни и смерти Эпикура» (1647), и с позиций атомизма критиковал учение Декарта. Гассенди возражал против основной посылки Декарта «мысль — следовательно существую», исходя из того, что в основе всего лежит чувственно данное. Материалист Гассенди исходит из чувственных ощущений.

Пространство и время у Гассенди существуют независимо от материи, сами по себе. Материя неразрушима и неизменна, меняется только её форма. Атомы неизменны и тождественны в своей материальной сущности, отличаясь только формой.

Разрабатывая атомистику в духе Эпикура, Гассенди связывает вместе с тем тяжесть с внутренней способностью атомов к движению. В отличие от макро-тел, которые могут приводиться в движение только в результате взаимодействия, атомы наделены принципом самодвижения.

Действия на расстояние Гассенди не признает; Земля действует на камень, равно как и магнит на железо, с помощью исходящих из них посредников. Хотя эти посредники и изображались крючочками и баграми, однако Гассенди не представлял себе дела так упрощенно и грубо. Земля притягивает камень, подобно тому, как яблоко притягивает мальчика, который видит это яблоко.

Несомненно, что физика Гассенди была одним из истоков системы Ньютона.

Если во Франции возникли две новых философских школы: картезианцев и гассендистов, то в Англии, несмотря на всеобщее увлечение религиозными и политическими вопросами, продолжало развиваться материалистическое направление сначала в рационалистической системе Гоббса, затем в сенсуализме Локка.

Томас Г о б б с (1588—1680) — сын деревенского священника, развивал систему абстрактного механистического материализма. По мнению Гоббса, философия должна объяснять явления из гипотетических причин и познавать эти причины логическим путём на основании установленных действий. Её цель — предвидеть действия, для того чтобы воспользоваться этим предвидением на практике. Философия Гоббса — это по существу математические естествознания.

Гоббс открыто исходит из успехов опытного естествознания. Он считает, что астрономия начинается с Коперника, физика с Галилея, учение о человеческом теле с Гарвея, открывшего кровообращение. Синтетические принципы в естественных науках разрабатывались Кешлером, Гассенди, Мерсенном. Своей задачей Гоббс считает обоснование общественных принципов.

В своей натурфилософии Гоббс исходит из того, что существуют объективно, независимо от нашего мышления тела. Тело — это то, что занимает часть пространства, следовательно, имеющее протяжение и форму. Протяжение и форма — это первичные качества тел, все остальные свойства, в том числе и подвижность, являются только формами восприятия тел. Тело является устойчивым, неизменным, меняются только его признаки, вследствие движения его частиц.

Следуй Декарту, Гоббс отрицает пустоту, но вместе с тем материю считает только названием. Реально существуют лишь тела, образующие действительную субстанцию мира. Сама эта материя лишена каких-либо качеств: это сухая, безжизненная субстанция. От рационализма Гоббса один шаг к воззрениям современных позитивистов, считающих атом системой дифференциальных уравнений.

Заключение.

Из сделанного нами обзора видно, как далеко шагнула философская мысль после опровержения схоластики.

Наиболее важной чертой философии XVII века следует признать её тесную, неразрывную связь с естествознанием. Философская мысль питалась развитием сытых наук и в свою очередь помогала этому развитию. Она обсуждает вопрос о методике в науках, об общих принципах и принципах наук, о едином воззрении на природу. Её целью становится объяснение мира из него самого, без привлечения сверхъестественных причин. Это объяснение в соответствии с уровнем тогдашнего естествознания является механистическим. Наглядную картину отношения новой философии к старой изобразил секретарь Парижской академии наук в начале XVIII в. Фонтенель:

«Я представлю себе природу обширным зрелищем, вроде оперы. С вашего места в опере вы не видите театра, как он есть на самом деле; декорации и машины расположены так, чтобы произвести приятный эффект; колёса и противовесы, помощью которых производится все движение, скрыты от вашего взора. Да вы вовсе и не захотите угадать, как всё это приводится в действие. И только, быть может, какой-нибудь машинист, притаившийся в партере, обеспокоится полётом, который покажется ему необыкновенным, и захочет непременно угадать, как полёт этот исполнен. Вы видите, машинист этот похож на философа. Но относительно философов трудность увеличивается тем, что в машинах, какие природа представляет нашим глазам, верёвки совершенно скрыты и скрыты так, чтобы не скоро можно было догадаться, что производит движение во вселенной. Представьте себе в опере мудрецов: Пифагоров, Платонов, Аристотелей, имена которых ныне так громко звучат в наших ушах; положим, что они видят полёт Фазтона, увлекаемого ветрами, не могут открыть верёвок и не знают расположения театра за кулисами. Один говорит: «Фазтон увлекается неким скрытым качеством». Другой: «Фазтон состоит из известных чисел, которые заставляют его подниматься». Третий: «Фазтон имеет известное влечение к верху театра; ему целовко, если он не там». Иной: «Фазтон не устроен для летания, но он скорее полетит, чем потерпит пустоту в верху театра», — и сотни других фантазий. Наконец приходит Декарт и некоторые из ловых и говорят: «Фазтон поднимается, потому что его тянут верёвки и есть груз более, чем он, тяжёлый, который в то же время опускается». Таким образом, теперь не верит более, чтобы тело двигалось, если его не тянет что-либо, или,

RENATI DESCARTES
PRINCIPIA
PHILOSOPHIÆ.

*Ultima Editio cum optima collata, diligenter
recognita, et mendis expurgata.*



AMSTELÆDAMI,
Apud DANIELEM ELSEVIRIUM,
MDCLXXVII.
Cum Privilegio S. Celsæ Majestatis.

Рис. 70. Титул «Начал философии».

точнее, если его не толкает другое тело; не верит, чтобы оно поднималось или опускалось, иначе, как вследствие действия противовеса или пружины; и тот, кто увидел бы природу, как она есть, увидел бы закулисную сторону театра».

Немного позже после того, как Фонтенель в Париже воздал хвалу философу, впервые заглянувшему за кулисы природы, Ломоносов в Петербурге писал:

«Славный и первый из новых философов Картезий осмелился Аристотелю философию опровергнуть и учить по своему мнению и вымыслу. Мы кроме других его заслуг особенно за то благодарны, что тем учёных людей ободрил против Аристотеля, против себя самого и против прочих философов в правде спорить, и тем самым открыл дорогу к вольному философствованию и к вящему наук приращению».

В этом «вольном философствовании», направленном «к вящему у наук приращению», и заключается громадное историческое значение философии XVII века. «На сие взирая, коль много новых изобретений искусные мужи в Европе показали и полезных книг сочинили» (Ломоносов).

ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ

(от Галилея до Ньютона)

Общая
характеристика.

XVII в. представляет кульминационный пункт процесса формирования новой науки. Все основные задачи, поставленные жизнью перед естествознанием, были разрешены. Упрочилось новое мировоззрение, заложены основы механики, развилась оптика, наметились программы и методы экспериментальной науки, найдены новые формы организации науки и международного научного общения.

Экспериментальная наука, как было справедливо указано Бэконом, могла успешно развиваться лишь коллективными усилиями. Эксперименты требовали средств и времени; возникло огромное множество проблем, требующих экспериментальной проверки, разрешение которых было не по силам отдельным лицам. Вот почему в XVII в. такое большое развитие получают научные общества — академии. Они явились организационными ячейками новой науки. В 1657 г. возникла Флорентинская академия опыта, работавшая по предначертаниям Галилея. Она насчитывала девять членов, работавших строго коллективно. Из флорентинских академиков наиболее известны Борелли и Вивiani — ученик и биограф Галилея. Труды академии вышли в 1667 г. Этот год был годом закрытия академии. Академия находилась под покровительством брата герцога Тосканского — Леопольда Медичи. Соблазнившись шапкой кардинала, Леопольд согласился на предъявленное римской курией требование — разогнать академию. Разгон академии вредно отразился на судьбах итальянской науки.

В Англии с 1645 г., когда гражданская война прервала деятельность университетов, развернулась работа кружка, на собраниях которого обсуждались различные научные вопросы. Одним из первых участников кружка был математик Валлис. По показаниям Валлиса тематика заседаний касалась различных вопросов тогдашнего естествознания. «Предметами нашего обсуждения, — говорит Валлис, — были: кровообращение, заслопки вен, млечные вены, лимфатические сосуды, гипотеза Коперника, природа комет и новых звезд, спутники Юпитера, овальные придатки, как они кажутся, Сатурна; солнечные пятна и обращение Солнца около оси, неравенства и селенографии Луны, фазы Венеры и Меркурия, изобретение телескопа и шлифовка стёкол для него, вес воздуха, возможность пустоты и боязнь пустоты в природе, опыт Торичелли со ртутью, падение тяжёлых тел, ускорение падения и другие вопросы касательно природы. Многие из этих предметов были тогда новыми открытиями, другие были мало известны и не так распространены, как ныне, как и вся область, называемая новой философией, которая, начиная с Галилея во Флоренции и сэра Фрэн-

сиса Бэкона (лорд Верулам) в Англии, разрабатывается, кроме Англии, в Италии, Франции, Германии и других местах.

В эпоху Кромвеля члены кружка переехали в Оксфорд (часть членов продолжала собираться в Лондоне). Со времени реставрации начинается организационное оформление общества. 28 ноября 1660 г. общество было организовано, в дальнейшем оно получило формальный королевский статус. По статуту общество получило название Лондонского королевского

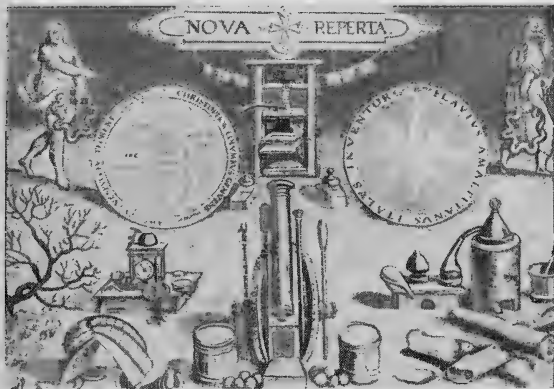


Рис. 71. Памятный лист с изображением великих открытий эпохи Возрождения.

общества. Оно было основано «для преуспевания экспериментальной философии».

На заседаниях общества делались опыты и сообщения о проделанных опытах. Опыты вначале ставились бессистемно, но они имели огромное значение, способствуя развитию экспериментальной науки.

Аналогичные учреждения возникали в других странах. В Париже в сороковых годах семнадцатого века также были частные собрания любителей и учёных. Кольбер предложил Людовику XIV организовать официально академию, которая и была основана в 1663 г. Затем академии возникли в других странах, и в начале XVIII в. вся Европа, включая Россию и скандинавские страны, была покрыта сетью академий.

Потребность в научной информации при столь бурном развитии науки была исключительно велика. В первой половине XVII в. большую роль играла переписка учёных различных стран. Своеобразным центром такой переписки был друг Декарта — «человек-журнал» Мерсенн. Мерсенн держал своих корреспондентов в курсе всех научных новинок. Несмотря на всю ценность научной переписки, она не могла удовлетворить запросов научной информации. И в XVII в. возникает новая форма научного общения, которая играет с тех пор исключительную роль, — научная периодика.

Первые периодические издания выходят в академиях. С 1665 г. издаётся орган королевского общества «Philosophical Transactions». Затем выходят мемуары Парижской академии. С 1862 г. издаётся научный журнал в Лейпциге «Учёные записки» («Acta Eruditorum»).

Все эти организационные мероприятия (академии и журналы) обеспечили успешное развитие новой науки. Выработанные в XVII в. формы международного научного общения продолжают играть видную роль и в современной науке.

Переходя к общей характеристике идейного содержания науки XVII в., мы должны указать стержневые вопросы, вокруг которых строилась новая физика. Практика требовала решения задач динамики и уточнения описания движения небесных светил, что привело к ведущей проблеме эпохи: замены механики Аристотеля новой, в результате решения которой были установлены принципы ньютоновской механики.

Особенно существенный интерес представляла механика неба. Уточнение практической астрономии выдвинуло в механике проблему часов, в оптике — проблему зрительных труб и телескопов. Теоретическая астрономия нуждалась в динамическом обосновании, т. е. в установлении точного закона тяготения. Проблема тяготения была, таким образом, одной из актуальнейших проблем эпохи. Принципы динамики, маятник, тяготение — вот стержневые вопросы физики XVII в., к которым присоединилась ещё под влиянием идей Декарта проблема взаимодействия тел и, в первую очередь, теория удара. К механике примыкали вопросы оптики, представлявшие существенный интерес в связи с необходимостью теоретического обоснования действия только что изобретённых оптических инструментов.

Ревизия натурфилософских воззрений Аристотеля коснулась и его принципа «боязни пустоты». Открытие атмосферного давления, изобретение воздушного насоса положили начало исследованию газов. Другими вопросами механики сплошных сред, разрабатывавшимися в XVII в., были вопросы гидростатики и элементы гидродинамики (Кастелли, Торичелли), начала теории упругости (Гук) и основы акустики (Галилей, Мерсенн и др.). Развитие новых методов исследования ознаменовалось первыми результатами в учении о теплоте и в учении об электрических и магнитных явлениях.

Характер ведущих проблем и развивающихся вокруг них исследований отчётливо указывает на тесную связь производства и науки, на определяющую роль производства. Касаясь специально XVII в., Маркс отмечал: «Очень важную роль сыграло спорадическое применение машин в XVII столетии, так как оно дало великим математикам того времени практические опорные пункты и стимулы для создания современной механики».

ACTA ERUDITORUM

ANNO M DCLXXXII

publicata,

at

SERENISSIMO FRATRUM PARI,

DN. JOHANNI
GEORGIO IV,

Electoatus Saxonici Haeredi,

et

DN. FRIDERICO
AUGUSTO,

Ducibus Saxoniae &c.&c.&c.

PRINCIPIBUS JUVENTUTIS

dicata

Cum S. Caesaris Majestatis & Potentissimi Ele-
ctoris Saxoniae Privilegio.

LIPSIÆ,

Prostant apud J. GROSSIUM & J. F. CLETISCHLIUM.

Typis CHRISTOPHORI GUNTHERI

Anno MDC LXXXII

Рис. 72. Титул журнала «Acta Eruditorum».

Механика и математика в XVII в. развивались во взаимной связи. Вычислительная астрономическая практика привела к изобретению логарифмов, причём у Непера связь между числами и логарифмами выводилась из идеи движения. Идея движения проникает в математику всё больше и больше. Разрабатывается понятие о функции, открывается дифференциальное и интегральное исчисление, создаётся аналитическая геометрия. Все эти великие математические открытия стали возможными только потому, что законы движения и связанные с движением понятия были усвоены деятелями XVII в. А развитие математики в свою очередь дало механике мощное орудие для дальнейшего продвижения вперёд.

Такова краткая характеристика науки XVII в. Приступая к более подробному анализу научных результатов этого периода, мы, естественно, должны начать с рассмотрения центральной проблемы физики этого периода: установления принципов динамики. И здесь мы снова встречаем имя Галилея.

Принципы динамики Галилея.

С чего приходилось начинать в области динамики? По существу, с самого начала. Надо было установить основные понятия кинематики: перемещение, скорость, ускорение. Надо было дать научную классификацию движений. И, наконец, надо было изучить причины, обуславливающие тот или иной вид движения, т. е. установить законы динамики. Ибо эти причины кроются как во внешней физической обстановке, так и во внутренних свойствах движущихся тел. Раскрыть, что зависит от внутренних свойств тела и что от внешней обстановки, это значит прийти, в конце концов, к установлению таких фундаментальных понятий динамики, как *масса* и *сила*. И хотя уже самим творцам динамики была ясна неравноправность этих понятий, было ясно, что категория силы является вспомогательным математическим понятием, тем не менее, введение этой категории являлось необходимостью. Физика этой эпохи была механикой, других форм движения не знали. Процесс преобразования форм движения одних в другие был сложен и скрыт. Видимым оставалось только то, что механическое движение могло возникать, могло уничтожаться, могло изменяться. Надо было поставить, хотя бы и формально, вопрос о *причине* этих изменений — силе. Такая постановка вопроса являлась безусловно необходимой и прогрессивной, ибо, отвлекая внимание исследователи от беспочвенных фантастических спекуляций, она сосредоточивала внимание на точном описании явлений, позволила ввести в механику математический анализ. Этот шаг был тем более естественным, что он прямо примыкал к учению о причинах Аристотеля и, следовательно, был достаточно привычным. Однако, повторяем, передовые деятели эпохи ясно ощущали методологическую несостоятельность этого понятия и отнюдь не были склонны канонизировать понятие силы. Вокруг понятия силы, и прежде всего дальнего действующей силы тяготения, разгорелась дискуссия, положившая начало знаменитому спору о дальнем действии и близком действии.

Но в эпоху Галилея эта дискуссия ещё не развернулась. На очереди прежде всего стоял вопрос о системе отсчета. Как известно, первым вопросом кинематики является описание положения простейшего объекта — точки. Математическая схема такого описания — система координат — дана Декартом. Но как обстоит дело с реальными движениями? Старая астрономия знала абсолютный покой и абсолютное движение. Тело, покоящееся относительно Земли, абсолютно покоится, движущееся относительно Земли — абсолютно движется. Существуют, следовательно, принципиально различные друг от друга истинный покой и истинное движение. Мы уже указывали, что Кузанский первым выступил против такой концепции, защищая

принцип относительности движения, провозгласив отсутствие неподвижного центра вселенной. Ему следовал Бруно. Коперник первым переместил систему отсчёта на Солнце и описал астрономические явления с точки зрения солнечного наблюдателя. Этот шаг был чрезвычайно плодотворным для астрономии, сложные петли и узлы движения планет были распутаны. Для физики шаг, сделанный Коперником, имел то фундаментальное значение, что выдвинул вопрос о влиянии движения системы отсчёта на ход процессов, изучаемых в этой системе. Аргументация птоломеевцев зиждилась на обычных представлениях о неощутимости движения Земли. Галилей, оценивший как астроном преимущества системы Коперника, был поставлен перед необходимостью ответить на эту аргументацию. Его аргументация в пользу системы Коперника была настолько блестящей и неопровержимой, что в науке установилось соглашение: систему отсчёта, связанную с центром солнечной системы, называть *галилеевой*. Но тот же Галилей установил факт огромной принципиальной важности: *любая система отсчёта, находящаяся в равномерном и прямолинейном движении относительно галилеевой, равноправна с ней в отношении описания механических процессов*. Галилеева система и системы, находящиеся относительно неё в равномерном и прямолинейном движении, называются *инерциальными* системами отсчёта, так как в них справедлив закон инерции (как и другие законы Ньютона). Все инерциальные системы равноправны, — так можно формулировать факт, установленный Галилеем. Сам Галилей выражает этот принцип в «Диалогах» следующим замечательно наглядным образом:

«Сальвиати. Заключите себя с каким-нибудь приятелем в возможно просторном помещении под палубу большого корабля и пустите туда мух, бабочек и других подобных маленьких летающих животных. Пусть будет там также большой сосуд с водою и в нём рыбки. Повесьте также на потолок ведро, из которого капля за каплей вытекала бы вода в другой сосуд с узким отверстием, находящийся внизу под ним. Пока не движется корабль, наблюдайте, как эти летающие животные с равной быстротой будут летать во все стороны комнаты. Увидите, что рыбы будут плавать безразлично во все стороны; падающие капли будут попадать все в подставленный сосуд. И вы, бросая приятелю какую-нибудь вещь, не будете принуждены употреблять большую силу для того, чтобы бросить её в одну сторону, чем в другую, если только расстояния одинаковы. Прыгая, вы будете проходить одинаковые пространства во все стороны, куда бы вы ни прыгали. Наблюдайте хорошенько за всем этим и заставьте привести в движение корабль с какою угодно быстротой. Если движение будет равномерно, то вы не заметите ни малейшей перемены во всех указанных действиях и ни по одному из них не в состоянии будете судить, движется ли корабль или стоит на месте. Вы, прыгая, будете проходить по полу те же самые пространства как и прежде, т. е. вы не сделаете, вследствие того, что корабль движется весьма быстро, больших прыжков к корме, чем к носу корабля, хотя в то время, когда вы находитесь в воздухе, пол, находящийся под вами, бежит к части, противоположной вашему прыжку. Бросая вещь товарищу, вам не нужно с большою силой бросать её, если он будет около носа корабля, вы же около кормы, чем наоборот. Капли будут падать, как прежде, в нижний сосуд, и ни одна не упадёт по направлению к корме, несмотря на то, что в то время как капли находится в воздухе, корабль уходит вперёд на несколько локтей. Рыбы в своей воде не с большим трудом будут плавать к одной, чем к другой, стороне сосуда и будут приходить с одинаковою ловкостью к пище, положенной на какое угодно место края сосуда. Наконец, бабочки и мухи будут летать попрежнему во все стороны и не будут держаться более около той стены, которая ближе к корме, как будто устали следовать за быстрым ходом корабля, от которого они, находявшись долго в воздухе, как будто разъединены. И, если зажжёте несколько ладана, то дым пойдёт вверх и будет держаться в виде облачка и безразлично двигаться в ту или другую сторону. А причина того, что все эти действия так соответствуют одно другому, заключается в том, что движение корабля обще всему находящемуся в нём — и в воздуху. Для этого сужию, говорил я, чтобы мы находились под палубой».

Следующим шагом, предпринятым Галилеем, было установление рациональной классификации движений. Перипатетическая схема разделила

движения на насильственные и естественные. Неудовлетворительность этой классификации уже ощущалась передовыми деятелями науки. Всё, что совершается в природе, должно совершаться в силу естественных законов — вот основная идея нового мировоззрения. «Для меня, — говорит Сальвиати в «Диалоге», — движение вверх сообщённого телу стремления столь же естественно, как движение вниз от тяжести». Но для новой научной классификации движений необходимо было установить чётко основные характеристики движения: скорость и ускорение.

Конечно, было бы заблуждением думать, что до Галилея наука не знала этих понятий. Понятие о скорости формируется из непосредственных наблюдений реальных движений («быстроногий Ахиллес» и черепаха). Ускоренный характер движения падающего тела был известен Аристотелю. С XIV в. эффективно развивается прикладная кинематика. Расчёты скоростей передаточных механизмов, например у Кардана, производились вполне строго. Но это была кинематика равномерных движений. Обобщение понятия скорости на случай неравномерного движения принадлежит Галилею. И Галилею принадлежит разделение движений на равномерные и неравномерные.

При этом Галилей ограничивается рассмотрением прямолинейных движений. Но он знает принцип суперпозиции движений и криволинейное движение брошенного тела рассматривает как результат совокупного выполнения двух прямолинейных движений. Поэтому способ Галилея является вполне общим. Прежде всего Галилей даёт чёткое определение равномерного движения, под которым он понимает такое движение, в котором «расстояния, проходимые движущимся телом в *любые* равные промежутки времени, равны между собой».

Уточнением обычного понятия равномерного движения является слово «любые», означающее, что скорость равномерного движения не зависит от времени, постоянна. Однако в этом определении ничего ещё не говорится о *направлении* скорости. Этот пробел встречается и в галилеевой формулировке закона инерции.

Для неравномерных движений скорость зависит от времени и в каждый момент своя. И это представление об истинной скорости в данный момент целиком принадлежит Галилею. Но Галилею скорость в данный момент может быть определена скоростью тела, движущегося равномерно с приобретённой в данный момент скоростью. Установление функциональной связи между скоростью и временем — важнейшая заслуга Галилея. Мысль о том, что падающее тело проходит, начиная с нулевой, все степени скорости до окончательной скорости падения, была новой и трудной. Галилей настойчиво развивает эту мысль и в «Диалоге» и в «Беседах» (Discorsi).

В «Диалоге» Сагрето спрашивает:

«Значит, падающее сверху ядро, в течение менее десяти ударов пульса проходящее более двухсот локтей, во время движения своего проходило такую степень скорости, что, сохранись бы она, оно бы в целый день не достигло земли?»

С а л в и а т и. Можете сказать в год, в десять, в тысячу лет».

Это возражение Сагрето повторяет и в «Беседах».

«... надлежит признать, что для промежутков времени, всё более и более близких к моменту выхода тела из состояния покоя, мы придём к столь медленному движению, что при сохранении постоянства скорости тело не пройдёт мили ни в час, ни в день, ни в год, ни даже в тысячу лет; даже в большее время оно не продвинется и на толщину пальца, — явление, которое весьма трудно себе представить, особенно, когда наши чувства показывают, что тяжёлое падающее тело сразу же приобретает большую скорость».

Сальвиати опровергает доводы Сагрето ссылкой на более точный опыт. К этому опыту (скорость падения тяжёлого тела измеряется деформацией мягкой пластинки, на которую падает тело) мы ещё вернёмся. Кроме того, Сальвиати указывает, что тело, брошенное вверх, проходит в обратном порядке все степени скорости до полной остановки. Симпличио на этот последний пример возражает, что невозможно исчерпать бесконечной последовательности степеней медленности, и таким образом тело никогда не остановится (возражение вполне аналогичное апориям Зенона). Сальвиати возражает:

«Это случилось бы,» — говорит Симпличио, если бы тело двигалось с каждой степенью скорости некоторое определённое время; но оно только *проходит* через эти степени, не задерживаясь более чем на мгновение, а так как в каждом даже самом малом промежутке времени содержится множество мгновений, то их число является достаточным для соответствия бесконечному множеству уменьшающихся степеней скорости».

Этот ответ Сальвиати замечателен в двух отношениях. Прежде всего Галилей здесь порывает со статичностью движения, с рассмотрением его как суммы покоев. Движущееся тело *проходит* через каждое своё состоящее. Во-вторых, Галилей здесь отчетливо переносит идею взаимно-однозначного соответствия на сравнение бесконечных совокупностей — идея, которая впоследствии была развита Кантором в его теории множеств, послужившей обоснованием анализа. В другом месте своих «Бесед» Галилей прямо высказывает положение (опираясь на ту же идею взаимно-однозначного соответствия), что всех чисел натурального ряда «столько же», сколько полных квадратов чисел. Отсюда ясно, что Галилей глубоко и тонко понимал трудности математического описания движений, так как полное логическое преодоление этих трудностей ведёт к обоснованию новой ветви математики: математического анализа.

Возвращаясь к галилееву определению скорости, следует отметить важность установленной им связи между скоростью и временем. Сам Галилей было пошёл сначала по пути установления связи между скоростью и путём. Опыт измерения скорости по деформации мягкой пластинки, произведённый падающим телом, как раз и иллюстрирует такую связь¹.

Размышляя над следующим по сложности типом движения, Галилей было пришёл к выводу, что таким движением будет движение со скоростью, пропорциональной пройденному пути. Галилей, однако, понял ошибочность этого шага и пошёл другим путём. Этот путь Галилею кажется самым естественным. «Подобно тому, как равномерность движения, — говорит он, — мыслилась и определялась нами посредством равенства времени и расстояния... и приращение скорости мы проще всего можем представить себе, как происходящее в соответствии с такими же равными промежутками времени. Умом своим мы можем признать такое движение единообразным и неизменно равномерно ускоряющимся, так как в любые равные промежутки времени происходят и равные приращения скорости».

Так формируется второе важное понятие кинематики: скорость изменения скорости — ускорение. Простейшим видом ускоренного движения будет равномерно ускоренное:

«Равномерно или единообразно ускоренным движением называется такое, при котором в равные промежутки времени прибавляются и равные моменты скорости».

¹ Из теоремы живых сил: $\frac{mv^2}{2} = f \cdot s$ вытекает, что углубление s пропорционально квадрату скорости.

Галилей ставит вопрос о причинах, обуславливающих тот или иной характер движения. Прежде всего встаёт вопрос: почему в равномерном движении тело сохраняет свою скорость? Перипатетики считали, что скорость поддерживается насильственно. Галилей подходит к мысли, что это естественное свойство тел. В «Диалоге» Сальвиати ставит вопрос о движении тела по наклонной плоскости вниз. Симплицио отвечает, что такое движение будет ускоренным. Сальвиати ставит далее вопрос о движении тела по наклонной плоскости вверх. Итоги дискуссии он подводит в следующих выражениях:

«Таким образом, вы изобразили, кажется мне, движение тела на двух различных плоскостях. На наклонной плоскости, говорили вы, тяжёлое тело движется вниз ускоренным движением и, чтобы его удерживать в покое, требуется употребить силу; на восходящей плоскости сила, напротив того, требуется, чтобы гнать его вверх, а также, чтобы его там удержать. Сообщённое ему движение, говорили вы далее, при этом постоянно ослабевает, пока не прекратится совсем. Далее вы утверждали ещё, что в том и другом случае на движение влияет покатость и отлогость плоскости: при большей покатости скорость движения значительнее, чем при меньшей, а при той же силе данное тело по восходящей плоскости подымается тем дальше, чем меньше наклон. Теперь скажите, что будет с тем же телом на плоскости, которая ни вниз не спускается, ни вверх не подымается».

В результате ответов выясняется, что тело, получившее толчок, в отсутствии сопротивлений будет двигаться столько времени, «сколько хватит плоскости, не представляющей ни спуска, ни подъёма».

«С а л в и а т и. Если, значит, длина её будет бесконечна, то и движение будет без границ, т. е. вечно».

В «Беседах» этот вывод зафиксирован в следующих выражениях:

«Когда тело движется по горизонтальной плоскости, не встречая никакого сопротивления, то... движение его является равномерным и продолжалось бы бесконечно, если бы плоскость простиралась в пространстве без конца».

Недостаток формулировки Галилея заключается в том, что он не может отвлечься от действия тяжести и в «Диалоге» приходит к выводу, что такой бесконечной «плоскостью» является поверхность земного шара. Но убеждение в законе сохранения скорости у него уже сложилось прочно и находит своё выражение в сформулированном им принципе суперпозиции (наложения) движений. В приведённом месте из «Бесед» он продолжает:

«Если же плоскость конечна и расположена высоко, то тело, имеющее вес, достигнув конца плоскости, продолжает двигаться далее таким образом, что к его первоначальному, равномерному, беспрепятственному движению присоединяется другое, вызываемое силой тяжести, благодаря чему возникает сложное движение, состоящее из равномерного горизонтального и естественного ускоренного движения».

Обратим здесь внимание на то, что ускорение падения Галилей объясняет действием силы тяжести. Это весьма важное открытие: ускорение является результатом действия силы. При этом Галилей отчётливо указывает, что кроме указанного действия других влияний на движение сила не оказывает (отсюда и вытекает принцип суперпозиции). В естественном ускоренном движении тело в любой момент получает одно и то же ускорение под действием данной силы, хотя скорость его в каждый момент разная: действие силы на тело не зависит от состояния его движения.

В «Диалоге» Галилей высказывается по этому вопросу с величайшей ясностью: ядро, выпущенное из руки одновременно с выстрелом из пушки,

достигает земли (при условии пренебрежения сопротивлением) одновременно с вылетевшим горизонтально из пушки ядром.

«Не замечательная ли вещь, — говорит Сагрето, — что в то самое малое время, которое требуется для вертикального падения на землю с высоты каких-нибудь ста локтей, ядро, силою пороха выброшенное из пушки, пройдёт четырёста, тысячу, четыре тысячи, десять тысяч локтей, — так что при всех горизонтально направленных выстрелах останется в воздухе одинаковое время».

И камень, брошенный с мачты движущегося корабля, и мяч, выпущенный из рук скачущего всадника, ведут себя одинаково с вылетевшим из дула пушки ядром: сохраняют свою скорость и уступают действию силы так, как если бы они покоились. Именно этим объясняется невозможность из механических явлений, наблюдаемых внутри равномерно движущейся системы, обнаружить движение этой системы. Так закон инерции, закон действия силы, принцип суперпозиции и принцип относительности сплетаются у Галилея в единое целое, представляющее собой фундамент динамики.

В качестве конкретных задач динамики Галилей рассматривает ускоренное движение и движение тела, брошенного горизонтально.

Галилей прежде всего разрушает нерациональное заблуждение, что скорость падения тяжёлого тела пропорциональна весу. Его знаменитый опыт с падением тел разного веса хорошо известен. Менее известна логическая аргументация, которой Галилей доказывает несостоятельность точки зрения Аристотеля. Пусть большой камень падает с некоторой скоростью, скажем 8 единиц. Эта скорость вполне, по Аристотелю, определена его весом и высотой падения. Пусть малый камень падает со скоростью 4 единицы. Если сложить эти камни, то скорость, с одной стороны, должна быть меньше 8 единиц (её уменьшает малый камень), с другой стороны, поскольку камень весит больше, она должна быть, по Аристотелю, больше 8-единиц. Получается противоречие, которое можно устранить допущением, что тела падают с одинаковым ускорением.

При этом Галилей делает очень точное замечание. Груз, положенный на другой груз, увеличивает его вес, если они оба покоятся на чашке весов. Но если оба груза падают свободно, то давления верхнего груза на нижний нет. Свободно падающий груз «не весит».

«Мы чувствуем тяжесть на плечах, когда сопротивляемся движению, к которому стремится давящая тяжесть, — говорит Сальвиати, — но если бы мы опускались с такой же скоростью, с какой перемещается свободно падающий груз, то каким образом тяжесть могла бы давить на нас? Не видите ли вы, что это подобно тому, как если бы мы хотели поразить копьем кого-либо, кто бежит впереди нас с равной или большей скоростью. Высидите из этого заключение, что при свободном и естественном падении малый камень не давит на большой и, следовательно, не увеличивает его веса, как то бывает при покое».

Галилей, впервые уяснивший это важное обстоятельство, делает из него вывод о *независимости ускорения тяжести от веса*. «Песчинка должна падать с такой же быстротой, как мельничный жернов», — говорит Сальвиати. Причина неодинаковости падения кроется не в действии силы тяжести, а в побочных обстоятельствах: сопротивлении окружающей среды. Открытый Галилеем факт, как показал впоследствии Ньютон, означает пропорциональность веса и массы или *равенство инертной и гравитационной (тяжёлой) массы*. Этот факт имеет большое практическое значение, давая удобный способ сравнения масс взвешиванием, но он же, как это выяснил Эйнштейн, имеет и крупное теоретическое значение, послужив основой для создания теории тяготения.

Итак, все свободно падающие тела имеют одинаковое ускорение. Скорость в таком падении растёт пропорционально времени. Отсюда Галилей следующим изящным методом находит закон пути. Он доказывает, что путь, проходимый в свободном падении за какой-либо промежуток времени, равен пути, проходимому в равномерном движении за тот же промежуток времени со скоростью, равной половине конечной скорости свободного падения. Положим, что отрезок AB (рис. 73) представляет собой время, в течение которого проходится при свободном падении путь CD . Скорости в отдельные моменты времени изображаются отрезками перпендикуляров к AB . Скорость в конце промежутка изобразится отрезком EB . Разделив отрезок пополам, проведём через середину F прямую FG , параллельную AB , и через начальную точку A прямую AG , параллельную BF . «Сумма параллельных линий (отрезков скорости), заключённых в четырёхугольнике $AGFB$, равна сумме тех же линий, заключённых в треугольнике AEB »... «ясно, что все моменты скорости ускоренного движения представлены возрастающими параллельными линиями треугольника AEB , а равномерного движения — аналогичными линиями параллелограмма $AGFB$; то, чего недостает моментам в первое время движения (т. е. моментам, представленным параллельными линиями, заключёнными в треугольнике AGI), возмещается моментами, представленными параллельными линиями треугольника IEF . Отсюда следует, что два тела пройдут равные расстояния в одно и то же время, если одно, выйдя из состояния покоя, будет двигаться равномерно-ускоренно, а другое просто равномерно со скоростью, равной половине максимальной степени скорости, достигнутой при ускоренном движении». Отсюда легко получить закон пропорциональности пути квадрату времени. Галилей получает этот закон обычным для того времени методом отношения. В современной форме вывод Галилея получается просто. Если отрезок $AB = t$ и ускорение равно a , то скорость $EB = at$. Путь



Рис. 73.

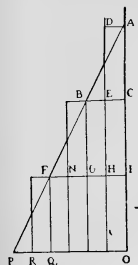


Рис. 74.

$$S = FB \cdot AB = \frac{1}{2} at \cdot t = \frac{1}{2} at^2.$$

Далее Галилей доказывает закон пропорциональности путей, проходимых за последовательные равные промежутки времени, ряду нечётных чисел. Пусть отрезки AC , CI , IO линии AO (рис. 74) представляют собой последовательные равные промежутки времени, отрезки CB , IF , OP представляют собой скорости в конце этих промежутков. Путь, пройденный за время AC , представляется прямоугольником $ADEC$, где $EC = \frac{1}{2} BC$. Если бы во второй момент времени сохранилась скорость BC , то путь, пройденный за этот момент, представлялся бы прямоугольником $BCIG = 2ADEC$. Но скорость нарастает и в продолжение момента CI , и к пути $ABGI$ прибавляется ещё путь, представляемый треугольником BGF , или, что то же самое, треугольником ABC , равным по площади прямоугольнику $ADEC$. Таким образом, за второй момент времени проходится путь, втрое больший пути, пройденного за первый момент. Аналогично доказывается, что путь, пройденный за третий промежуток времени, равен пятикратному пути, пройденному за первый момент, и т. д. В этом доказательстве очень

отчётливо выступает идея положения (суперпозиции) движений. В каждый момент движение составляется из равномерного движения со скоростью, полученной в предшествующий момент, и равноускоренного движения без начальной скорости.

Галилей не ограничился теоретическими доказательствами и приступил к их опытной проверке. Дело это было чрезвычайно трудное. Непосредственная проверка законов для свободного падения была по существу невозможна, ввиду отсутствия надёжных и удобных часов. Необходимо было получить меньшие ускорения, и Галилей воспользовался для этой цели наклонной плоскостью. Прежде чем перейти к описанию этих классических опытов, мы должны сделать два замечания.

1. Мы уже упоминали, что понятие «силы» ещё не выкристаллизовалось у Галилея. «Груз», «усилие» — обычные понятия статисты — были, конечно, ему знакомы. Но Галилею было также ясно, что эффект действия сил зависит от наличия связи, от плеча. Далее Галилея интересовал конечный результат, получающийся при совокупности действия тяжести и начального толчка, как, например, высота подъёма брошенного тела.

В связи со всем этим Галилей, наряду с термином «сила», пользуется терминами: «момент», «импульс», «энергия», «работа». Эти термины не совпадают, как правило, с ныне употребляемой терминологией и часто употребляются в различных смыслах. Однако в каждом конкретном случае можно понять, какое значение вкладывает Галилей в употребляемый им термин.

2. Эта неустойчивость терминологии объясняется главным образом тем, что в положениях Галилея мы встречаем зерно всех принципов механики. Принцип инерции и действия силы у него сочетается с теоремой живых сил и принципом возможных перемещений. Галилей оценивает действие силы в двойном отношении: по создаваемой ею скорости в течение данного промежутка времени и по способности преодолевать данное сопротивление (деформация мягкой пластинки, забивка свай, высота подъёма брошенного тела). Эта двойная оценка действия силы в дальнейшем выявилась в споре о двух мерах движения. Мы ознакомились уже с результатами Галилея, полученными из первой оценки действия силы. Опытная проверка этих результатов приводит ко второй оценке её действия.

Теорию движения тела на наклонной плоскости Галилей начинает с доказательства положения, которое на современном языке означает *консервативность силы тяжести*. Положение это (опять-таки в современной форме) гласит: работа силы тяжести не зависит от формы пути, а только от разности высот конечных точек пути. Современная механика учит, что такая независимость работы силы от формы пути тождественна с применимостью к этим силам закона сохранения *механической* энергии (отсюда и термин «консервативные» силы — для них *сохраняется* механическая энергия, тогда как для «диссипативных» сил механическая энергия рассеивается, переходит в другие формы). Консервативный характер силы тяжести Галилей доказывает классическим опытом с маятником («маятник Галилея») и формулирует в следующих выражениях:

«Степени скорости, приобретаемые одним и тем же телом при движении по наклонным плоскостям, равны между собой, если высоты этих наклонных плоскостей одинаковы».

Пусть на гвозде A подвешен маятник AB (рис. 75). Если маятник отвести в положение AC и отпустить, то он в отсутствии сопротивления займёт положение AD , «импульс, приобретённый в точке B маятником, спускающимся по дуге CB , достаточен для того, чтобы поднять этот шарик по такой же дуге на ту же высоту». Если вбить гвоздь в точке E , то оказы-

Другими словами, галилеев вывод закона наклонной плоскости основан на равенстве работ $H \cdot CF = G \cdot AF$.

Полученный результат даёт возможность Галилею, варьируя высоту и длину наклонной плоскости, получать ускорения достаточно малые, чтобы можно было подвергнуть опытной проверке найденные им законы равноускоренного движения. С этой целью им была изготовлена деревянная доска около 12 локтей длины и шириной в пол-локтя (около 30 см), в доске был проточен жёлоб, по которому скатывался бронзовый шарик. Время измерялось следующим образом: большое ведро наполнялось водой, в дне ведра было узкое отверстие, через которое тонкой струйкой вытекала вода в поставленный бокал. Весом воды, набегавшей в бокал, и измерялось время движения. Заставляя шарик при данном наклоне плоскости скатываться с различных положений, можно было проверить закон пропорциональности пути квадрату времени.

Пользуясь законом наклонной плоскости и законом ускоренного движения, Галилей нашёл теоретически ряд интересных следствий. Он показал, что времена ската тяжёлой точки по хордам, проведённым из высшей точки круга с вертикальным диаметром, одинаковы и равны времени падения точки по этому диаметру. Он показал далее, что время ската тяжёлой точки по дуге меньше, чем время ската по стягивающей её хорде. Правда, Галилей ошибочно полагал, что дуга окружности является вообще линией быстреего по времени ската между двумя точками, не лежащими на одной горизонтали¹. Точно так же Галилей ошибочно полагал, что дуга окружности обладает свойством *таутохронности*, т. е. тяжёлая точка, скатываясь по дуге окружности, должна достигать её наинизшей точки за одно и то же время из любого положения. Это убеждение он подкрепил опытным наблюдением над изохронностью колебаний маятника. Однако закон изохронности колебаний маятника справедлив только для небольших дуг (не превышающих 5—6°) и таутохронной, как это показал впоследствии Гюйгенс, является не окружность, а циклоида.

Рассмотрев ускоренное движение, Галилей обращается к рассмотрению сложного движения брошенного тела. При этом руководящим предположением является для него то, «что движение в поперечном направлении остаётся всегда равномерным, движение же, обусловливаемое естественным падением, одновременно сохраняет свою особенность нарастания пропорционально квадрату времени, и что такие движения и скорости слагаются, но не мешают и не пренебрегают друг другу». Галилей доказывает, что результатом суперпозиции этих движений будет парабола. С поразительной тонкостью он замечает, что этот вывод является приближённым: во-первых, не учтено сопротивление воздуха и, во-вторых, не принято во внимание изменение направления силы тяжести, так что все вертикали считаются параллелями. Он указывает, что наибольших отступлений реальных траекторий от параболы следует ожидать для артиллерийских снарядов. В частности, при больших скоростях чрезвычайно возрастает роль сопротивления воздуха, что иллюстрируется следующим опытом:

«Выстрелим отвесно вниз свинцовой пулей из аркебуза с высоты ста и более локтей в каменную мостовую, а затем выстрелим из того же аркебуза в ту же мостовую с расстояния одного или двух локтей и посмотрим, какая из двух пуль окажется более сплюснутой.

¹ Линия быстреего ската была найдена И. Бернулли и оказалась циклоидой. Задача о линии быстреего ската называется задачей о *брахистохроне*.

... Я сам не производил такого опыта, по склонен думать, что с какой бы большой высоты ни был произведён выстрел, пуля, выпущенная из аркебузы, и ядро, выпущенное из орудия, никогда не произведут такого удара, какой получается при выстреле в стену с расстояния в небольшое число локтей».

То есть прирост скорости, получаемый пулей при свободном падении с высоты, не в состоянии скомпенсировать убыли скорости вследствие сопротивления воздуха. Результаты Галилея, изложенные в беседе 4-го дня, позволяют считать его отцом весьма важной для военного дела науки — внешней баллистики.

Исследованиями Галилея был заложен фундамент динамики. Дальнейшие исследования должны были углубить и укрепить этот фундамент. Мы уже указывали на известную ограниченность галилеевской формулировки закона инерции и на отсутствие у него ясных представлений о таких основных понятиях динамики, как масса и сила. Важный шаг в дальнейшем развитии динамики сделал Декарт.

Декарт не был сторонником динамической концепции, в которой понятие силы, как активного, одушевляющего материя, извне ей навязанного начала, играет первостепенную роль. Наоборот, как мы знаем, Декарт стоял на позициях кинетического мировоззрения, согласно которому основу мира составляет материя и движение. Раз созданные материя и движение неучитожимы. Понятно, что в таком воззрении закон сохранения движения играет первостепенную роль, и частным случаем такого закона является закон инерции. В одном из своих писем Декарт говорит:

«Полагаю, что природа движения такова, что, если тело пришло в движение, уже этого достаточно, чтобы оно его продолжало с той же скоростью и в направлении той же прямой линии, пока оно не будет остановлено или отклонено какой-либо другой причиной».

Эта формулировка Декарта своей законченностью и ясностью восполняет галилеевскую формулировку, и в истории физики обычно дату установления закона инерции относят к 1644 году — году выхода «Начал философии» Декарта, где впервые им был сформулирован закон инерции. Однако эта формулировка содержит только часть более общего закона — закона сохранения движения, сформулированного им в виде 1-го начала в «Космогонии». В своём месте мы приводили эту более метафизическую, чем приведённые выше, формулировку. Ввиду важности вопроса воспроизведём здесь её ещё раз:

«Первое правило состоит в том, что каждая часть материи по отдельности всегда продолжает оставаться в одном и том же состоянии до тех пор, пока встреча с другими частями не вызовет изменения этого состояния. Иными словами, если частица материи обладает некоторой величиной, то она никогда не сделается меньше, пока другие частицы её не разделят; если эта частица круглая или четырёхугольная, она никогда не изменит этой фигуры, не будучи вынуждена к этому другими; если она остановилась в каком-либо месте, она не покинет его до тех пор, пока другие её оттуда не вытолкнут; и если она начала двигаться, то продолжает это движение постоянно с равной силой до тех пор, пока другие её не остановят или не замедлят её движение».

Как видно отсюда, «внешней» причиной, нарушающей состояние частиц материи, является воздействие на данную частицу окружающих частиц.

Мерой воздействия является количество движения (термин не принадлежит Декарту), определяемое величиной и скоростью частицы (mv). Величина частицы прямо даёт количество материи. Но Декарт очень хорошо представляет, что результат воздействия на данную частицу зависит от её состояния, т. е. не только от величины частицы (количества материи), но

и от её формы и от её скорости. Другими словами, инерция частицы, которая оценивается «способностью» частицы «уступать» внешним воздействиям, не может быть оцениваема неизменной величиной. В одном из писем Декарт говорит:

«Можно утверждать с достоверностью, что камень не одинаково расположен к принятию нового движения или к увеличению скорости, когда он движется очень скоро и когда он движется очень медленно».

Эта гениальная догадка Декарта не встретила отклика ни у современников, ни у последующих поколений физиков до тех пор, пока Дж. Дж. Томсон не установил переменный характер электромагнитной массы¹. В XVII в., следуя идеям атомистов, Галилей (см. гл. V), Гассенди и другие (вместе с Декартом) провозглашали неуничтожаемость материи. Но чистые атомисты, как Гассенди, учили о неизменных по величине и форме частичках — атомах, неразрушимых и неразделимых. В дальнейшем массу частиц, проявляющуюся в её инерции, отождествляли с количеством материи и, следовательно, считали неизменной. Декарт, откинув концепцию о неделимых и неизменных частицах — атомах, смог высказать ряд глубоких мыслей о характере взаимодействия частиц, в том числе и об изменчивости инерции. Но, повторяем, эти мысли Декарта были осуждены современниками и потомками. Декарт не разрабатывал математически следствий из своих принципов. Указав, что изменение состояния тела является результатом внешних воздействий, он не рассмотрел подробности этих воздействий (правда, он обстоятельно занимался проблемой удара, о чём будет сказано ниже) и в частности не мог точно сформулировать закон взаимодействия частиц, т. е. 3-й закон динамики. Несмотря на то что закон сохранения количества движения, который является эквивалентным 3-му закону, им был сформулирован, 3-го закона Декарт не открыл. Причиной этого было то обстоятельство, что Декарт ошибочно считал количество движения арифметической, а не направленной величиной. Отсюда, между прочим, произошли ошибки и в его теории удара. Только после установления точных законов удара Валлисом, Реном и Гюйгенсом, проверенных на опыте как Реном, так и Мариоттом, стало возможным установление 3-го закона, что и было сделано Ньютоном. Таким образом, исторически установление 3-го закона связано с установлением законов удара. К истории этих законов мы и обращаемся.

Теория удара.

Проблема удара — это проблема взаимодействия системы тел, и представляется она чрезвычайно сложной. Понятно, что законы удара не могли быть сразу найдены правильно в ту эпоху, когда еще только формировались понятия динамики точки. Первым занявшимся проблемой удара был Галилей. Его результаты изложены в «Беседах» (*Discorsi*), в беседе 6-го дня. Галилей не смог решить проблемы, и самая постановка им проблемы отличается от обычной. Его интересует прежде всего вопрос о мере силы удара, об опытных способах измерения этой силы. В этих целях он проделал следующий опыт. На коромысле, вращающемся около неподвижной центральной оси, были уравновешены два груза, один из которых представлял два ведра, подвешенных один над другим на некотором расстоянии друг от друга. В верхнем сосуде имелось в дне отверстие, которое можно было закрывать и открывать, в сосуд наливалась вода. Вся эта система уравнивалась противоресом.

¹ В 1896 г. профессор Н. А. Умов подчеркнул важное значение этого утверждения Декарта и предсказал, что масса при скоростях, близких к скорости света, должна возрастать.

Так как ударяющее тело движется то, оно, по Галилею, должно обладать тем большим моментом, чем больше вес и скорость тела. Ожидалось поэтому, что по открытии задвижки равновесие нарушится, противовес поднимется, и перегрузок, который надо добавить к весу противовеса, может служить мерой удара водяной струи. Однако оказалось, что в начальный момент нарушение равновесия произошло в противоположную сторону (противовес опустился), а затем, когда струя достигла нижнего сосуда, равновесие восстановилось. Этот опыт Галилея является прекрасной иллюстрацией закона сохранения количества движения, но он не дал ему ответа на вопрос о мере удара. В конце концов Галилей приходит к выводу, что сила удара бесконечно велика или во всяком случае неопределённая. Важно отметить, что в своих рассуждениях Галилей весьма четко различает «мёртвую силу», силу давящего груза, и «живую силу»¹, силу движущегося груза. Чтобы произвести такое же действие на сваю, какое производит «баба», падающая с высоты, необходимо значительно превосходящее вес падающей бабы давление «мёртвого» груза. Тем самым Галилей сделал первый шаг в вопросе о законе сохранения энергии и мере движения.

Декарт, для которого все взаимодействия тел сводились к давлению и удару, вплотную занялся проблемой удара. Руководящим принципом для него является закон сохранения количества движения. Но Декарт, как уже отмечалось, суммировал количества движения арифметически и нечетко различал упругие тела от неупругих. Поэтому его теория является ошибочной, причем некоторые ошибки настолько грубы, что достаточно элементарного опыта для их опровержения. Вот «правила удара» Декарта, сформулированные для твердых тел.

- 1) Два одинаковых тела с равными и противоположными скоростями после удара обмениваются скоростями.
- 2) Если одно тело B хоть несколько больше другого тела C , то после удара оба тела движутся по направлению B с одинаковыми скоростями.
- 3) Если B и C равны по величине, но у B большая скорость, то B отдаёт C половину излишка скорости.
- 4) Если $C > B$ (хотя бы немного) и покоится, то B отскакивает от него с противоположной скоростью.
- 5) Если $C < B$ и покоится, то оба тела будут двигаться с одинаковой скоростью, причём B отдаёт соответственно массам часть своей скорости C .
- 6) Если B и C равны, то C движется в направлении B , а B отскакивает.
- 7) Седьмым правилом регламентируется распределение скоростей при одинаковом направлении скоростей соударяющихся тел.

Декарт видел несоответствие своих правил с данными опыта, но считал, что поскольку идеально твердых тел в природе нет, то и не может быть полного соответствия его теории с опытом.

С большим успехом занимался проблемой удара Исааи Марци (1595—1667), выпустивший в 1639 г. трактат «De proportionibus motus seu regula sphaerica». Марци разделяет тела на мягкие, хрупкие и твёрдые и для последних (упругих) дал следующие законы:

1. Если движущееся тело соударяется с равным ему покоящимся, то оно останавливается, а покоящееся тело получает скорость движущегося.
2. Два равных тела, соударяющихся с равными и противоположными скоростями, после удара обмениваются скоростями.

Проблема удара, в её крайних случаях (упругий и неупругий центральные удары), была решена в связи с конкурсом, объявленным в 1668 г.

¹ Правда, термина «живая сила» Галилей не употребляет, этот термин введён позднее Лейбницем.

Королевским обществом в Лондоне. Правда, Гюйгенс теоретически, а Рен экспериментально занимались этой проблемой и до конкурса. На конкурсе были представлены результаты математика Валлиса (1616—1703), давшего теорию неупругого удара, архитектора Рена (1632—1722) и знаменитого физика и математика Гюйгенса. Рен и Гюйгенс разобрали упругий удар. Все исследователи установили закон сохранения количества движения в алгебраической форме (поскольку скорости соударяющихся тел направлены по одной прямой), но Гюйгенс нашёл, кроме того, что при упругом ударе сохраняется сумма произведений масс на квадраты скоростей соударяющихся тел. Доказательства результатов Гюйгенса были опубликованы уже после его смерти в 1703 г. Опытной проверкой законов удара занимались Рен и Мариотт, подтвердившие закон сохранения количества движения. Не только Ньютон связал этот закон с третьим принципом механики и довёл до конца работу по обоснованию механики.

Гюйгенсовская теория упругого удара замечательна её связью с принципом относительности. Основными положениями его теории являются: 1) закон инерции, 2) постулат об обмене скоростями соударяющихся упругих (твёрдых по терминологии Гюйгенса) тел, обладающих равными массами и противоположными скоростями, и 3) постулат, утверждающий, что скорость равномерного и прямолинейного движения системы, в которой рассматривается удар, не влияет на процесс соударения (принцип относительности в применении к явлению удара). «Так, например, — поясняет Гюйгенс этот постулат, — когда пассажир некоторого корабля, движущегося с постоянной скоростью, приводит к соударению два равных шара с равными по отношению к нему и частям корабля скоростями, то они должны отскочить с равными же, по отношению к нему, скоростями, точно так же, как это имеет место для стоящего на берегу и соударяющего те же шары с равными скоростями».

Гюйгенс, пользуясь принципом Галилея, как эвристическим принципом, находит законы упругого удара. Чтобы дать представление о методе Гюйгенса, приведём доказательство первой теоремы его теории.

Теорема 1.

«Если о покоящееся тело ударяет другое равное тело, то это другое тело будет после удара покоиться, а покоящееся получит ту же самую скорость, какой обладало ударяющее».

Представим себе, что бот увлекается потоком вдоль берега и так близко к берегу, что стоящий на нём пассажир может протянуть руки стоящему на берегу спутнику. Едущий может держать в своих руках A и B два равных, подвешенных на нитях тела E и F , расстояние EF между ними в точке G делится пополам (рис. 77). Равным встречным движением рук относительно себя и лодки он приводит к соударению шары E и F также с одинаковыми скоростями, и они должны (постулат 2) отскочить после удара также с одинаковыми скоростями (относительного его и бота).

Однако судно мыслится увлекаемым в левую сторону со скоростью GE , т. е. с такой же скоростью, с какой рука A двигалась вправо. Поэтому очевидно, что рука A для спутника на берегу остаётся неподвижной, а рука B , с точки зрения того же спутника, движется со скоростью FE , равной двойной скорости GE и FG .

Таким образом, если представить себе, что спутник на берегу схватывает своей рукой C руку A едущего и вместе с тем конец нити, несущей шар E , а другой рукой D руку B едущего, несущую нить, на которой висит шар F , то ясно, что в то время как пассажир сближает шары E и F с равными скоростями (по отношению к себе и боту), спутник на земле ударяет о покоящийся шар E шаром F , движущимся со скоростью FE (по отношению к себе и берегу). Естественно, что для едущего, который движет шары свои связанным образом, ничего не значит, что спутник на берегу схватил его руки и концы нитей, так как он только принимает участие в их движении и не делает им никакого возмущения. По тем же основаниям совершенно не препятствует и спутнику на берегу, приводящему шар F к неподвижному шару E , что пассажир держит с ним руки, поскольку руки A и C по отношению к берегу покоятся, а руки D и B движутся с той же скоростью FE . Но поскольку, как сказано, шары E и F после взаимного соприкосновения отскакивают с равными скоростями относительно пасса-

экипа и бота и именно шар E со скоростью GE и шар F со скоростью GF и поскольку в то же время бот увлекается налево со скоростью GE или FG , то по отношению к берегу и неподвижному спутнику выйдет, что шар F после удара останется неподвижным, а другой шар, с той же точки зрения, движется налево с двойной скоростью GE т. е. с той же скоростью FE , с какой шар F ударился о E . Мы доказали, таким образом, по отношению к стоящему на земле и ударяющему подвижным телом о неподвижное, что это подвижное тело теряет всё своё движение, а то (неподвижное тело) всё «получает, что требовалось доказать»¹.

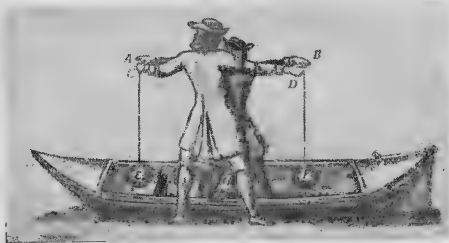


Рис. 77. Изучение удара шаров (по Гюйгенсу).

Одним из важнейших результатов гюйгенсовской теории было установление им принципа сохранения живых сил для упругого удара.

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 U_1^2 + m_2 U_2^2,$$

где m_1 и m_2 — массы, а v_1 , v_2 , U_1 и U_2 — скорости соударяющихся тел соответственно до и после удара.

Это же положение играет фундаментальную роль в его теории физического маятника.

Установлением законов удара завершилась подготовительная стадия работы по обоснованию механики. Все эти принципы были в том или ином виде сформулированы. Оставалось обобщить их в единую систему, что и было сделано Ньютоном.

¹ Поясним рассуждения Гюйгенса простым расчётом.

Пусть в подвижной системе отсчёта K' (бот) скорости шаров E и F равны соответственно: $v_1 = -U$, $v_2 = +U$, где U — скорость системы (бота). Тогда в неподвижной системе K (берег) эти скорости будут:

$$C_1 = v_1 + U = 0,$$

$$C_2 = v_2 + U = 2U.$$

После удара скорости в K' будут (постулат 2):

$$v_1' = U,$$

$$v_2' = -U.$$

а в K

$$C_1' = v_1' + U = 2U, \quad C_2' = 0,$$

что и доказывает теорему.

Тяготение.

Но кроме удара и давления, существовал другой род взаимодействия между телами, природа которого оставалась загадкой и привлекала исключительное внимание также в связи с космологией. Мы имеем в виду тяготение. Галилей, сделав первый шаг в физическом обосновании системы Коперника, конечно, не мог обойти молчанием учения перипатетиков о тяготении. В духе Кузанинского и Леонардо он высказывает идею о стремлении частей тела к воссоединению, причём это стремление присуще не только Земле. Существует не один центр мира, а множество силовых центров, около которых и спланиваются массы небесных тел. Однако Галилей считал неприемлемым объяснить, например, тяготением Луны приливы и отливы и создал совершенно иную теорию, в которой приливы и отливы объясняются положением суточного и годового движения Земли. Но величайшей заслугой Галилея в учении о тяжести является открытие им независимости ускорения тяжести от массы. Интересно отметить, что как в частной теории относительности, так и в общей, Эйнштейн отправляется от Галилея. Следующий важный шаг в теории тяготения принадлежит Кеплеру.



Кеплер.

Иоганн Кеплер родился 2 декабря 1571 г. в семье трактирщика, учился на богословском факультете Тюбингенского университета. Здесь на него большое влияние оказал астроном Местлин, ознакомивший его с системой Коперника. В 1593 г. он окончил факультет и получил должность профессора в Граце. Здесь в 1597 г. он выпустил сочинение «Предварительное космографическое исследование, содержащее космографическую тайну». В этом сочинении уже ясно видна основная идея научного творчества: охватить математической формулой солнечную систему. Эту задачу в «Космографической тайне» он решает довольно сложно. Около Солнца, как центра, описывается сфера радиусом, равным радиусу орбиты Меркурия. Вокруг этой сферы описывается восьмигранник. Радиус сферы, описанной около этого восьмигранника, даёт радиус орбиты Венеры. Описав около этой сферы № 2 двенадцатигранник, описывается около последнего сфера № 3, её радиус равен радиусу земной орбиты. Около сферы № 3 описывается двенадцатигранник, вписанный в сферу № 4, радиус которой даёт радиус орбиты Марса. Около сферы № 4 описывается тетраэдр, вписанный в сферу № 5, дающую радиус орбиты Юпитера. Наконец, описав около сферы № 5 шестигранник, он вписывает его в сферу № 6, дающую радиус шестой планеты — Сатурна. Только впоследствии Кеплер убедился в несоответствии своих построений точным данным Браге, но свой план не оставил.

Тяжёлые материальные условия Кеплера в Штирии, с последовавшими затем религиозными гонениями (Кеплер был протестант, а Штирия была католической областью), заставили Кеплера в течение двух лет скитаться с семьёй, пока в 1600 г. он не принял предложения Тихо Браге поступить к нему в Прагу. Однако с Браге Кеплеру удалось проработать только около двух лет: в 1601 г. Тихо Браге умер. В руки Кеплера попал драгоценный документ — дневники наблюдений Тихо, которые он стал ревностно обра-

monices mundi» («Мировая гармония» — 3-й закон). «Новая астрономия» Кеплера — это не только новая астрономия, она содержит в себе и новую механику и новую математику. В истории математики имя Кеплера фигурирует в качестве одного из основоположников исчисления бесконечно-малых. Зерна этого исчисления содержатся не только в «Стереометрии винных бочек», но и в «Новой астрономии». Закон площадей Кеплер формулирует так, что время, в течение которого планета перемещается из перигелия в какое-нибудь положение, так относится ко времени полного обращения вокруг Солнца, как «сумма радиусов векторов», укладывающихся на секторе, ограниченном пройденной планетой дугой, относится к «сумме радиусов-векторов» всего эллипса. Это, по существу, означает, что Кеплер рассматривает площадь, как интеграл бесконечно малых секторов, описанных радиусом вектором за бесконечно малый промежуток времени. Из закона Кеплера, если известен общий закон действия силы, нетрудно вывести заключение, что на планету действует сила, направленная к Солнцу. Сам Кеплер понимал, что из Солнца должна действовать причина, увлекающая планету по эллиптическому пути, но он полагал, что эта сила действует в плоскости орбиты по касательной к ней. Что же касается тяжести, то Кеплер развивает следующие мысли о природе тяготения:

«Вот истинное учение о тяжести: тяжесть есть взаимная склонность между родственными телами, стремящимися слиться, соединиться воедино; магнитная способность есть свойство того же порядка: скорее Земля притягивает камень, чем камень стремится к Земле. Если бы мы поместили даже центр Земли в центре мира, то не к этому последнему центру притягивались бы тяжёлые тела, а к центру круглого тела которому они родственны, т. е. к центру Земли. В какое место мы ни поместили бы Землю, тяжёлые тела вследствие присущей им особенности будут всегда двигаться к ней. Если бы Земля не была круглая, то тяжёлые тела не двигались бы со всех сторон к центру Земли, а они двигались бы в различные пункты, смотря по месту, которое они занимали бы».

Итак, Кеплер окончательно порывает с перипатетической идеей центра. Тяжесть — это не стремление тела к центру мира, а свойство физического тела Земли воссоединить свои части. Это свойство присуще всем телам.

«Если бы в каком-нибудь месте мира находились два камня на близком расстоянии друг от друга и вне сферы действия какого бы то ни было родственного им тела, то эти камни стремились бы соединиться друг с другом, подобно двум магнитам, где-нибудь посредине этого расстояния, и пути, которые им пришлось бы пройти, были бы обратно пропорциональны их массам».

До Кеплера Гильберт высказывал мысль о магнитной природе тяготения, присущего всем телам. Как видим, Кеплер также сближает магнитную и гравитационную силы. Ещё более определённо он высказывается в этом смысле в связи с теорией приливов и отливов, приписываемых им действию Луны.

«Луна действует не как влажная или овлажняющая звезда, а как масса, родственная массе Земли. Она притягивает воды моря магнитными действиями не потому, что эти воды влажны, а потому, что они одарены земной субстанцией, той самой субстанцией, которой они обязаны также своей тяжестью».

Horoscopium gestellet durch Ioannem Keplerm

1608.

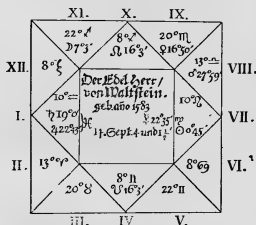


Рис. 80. Гороскоп, составленный Кеплером.

Так мало-помалу, вместе с удалением Земли из центра вселенной, растёт и крепнет мысль об универсальной природе тяготения, и в 1643 г. Роберваль высказывает в довольно отчётливой форме идею о всемирном тяготении:

«Материя, наполняющая пространства между небесными светилами и между частями каждого из них, обладает одним определённым свойством или определённой акциденцией. Силой этого свойства материя эта оказывается соединённой в одном и том же теле, все части этого тела постоянно притягиваются друг к другу, вследствие чего они и оказываются объединёнными в одно целое и могут быть отделены друг от друга лишь большою силою».

«Всей системе Земли и элементам земным и каждой части этой системы присуща акциденция, или известное свойство, сходное со свойством, которое мы приписывали системе мира, взятой в целом. Силой этого свойства все части этой системы соединяются в одну массу и взаимно друг к другу притягиваются».

Но если Луна тяготест к Земле, а планеты к Солнцу, то что мешает их взаимному сближению? Кеплер считал, что от вращающегося Солнца исходит некоторая «душа движения», увлекающая планеты. Декарт выдвинул концепцию вихрей. В 1666 г. Борелли в сочинении «Теория планет Медичи» впервые выдвинул идею о динамическом равновесии движущихся планет. Он пишет:

«Предположим, что планета стремится к Солнцу и в то же время своим круговым движением удаляется от этого центрального тела, лежащего в середине круга. Если обе эти противоположные силы равны между собой, то они должны уравниваться — планеты не будут в состоянии ни приблизиться к Солнцу, ни отойти от него дальше известных пределов и в таком равновесии будут продолжать своё обращение около Солнца».

Таким образом, качественно задача Борелли была решена. Но решение должно быть подкреплено количественным расчётом. Динамика кругового движения ещё не была создана. Но в 1673 г. Гюйгенс в своём знаменитом сочинении «Horologium oscillatorium» (маятниковые часы) даёт закон центростремительной силы. Путь к решению проблемы центрального движения был открыт.

Гук, обладавший исключительной способностью схватывать актуальные проблемы эпохи, не замедлил выступить в 1674 г. со своими соображениями о системе мира. В работе «Опыт доказательства движения Земли из наблюдений» он пишет:

«Изложу систему мира, во многих отношениях отличную от всех известных, но отвечающую во всём общим законам механических движений. Она зависит от трёх предположений.

Во-первых, что все небесные тела имеют притяжение, или силу тяготения, к своему центру, вследствие чего они не только притягивают собственные части и пренебрегают им разлетаться, как наблюдаем на Земле, но притягивают также все другие небесные тела, находящиеся в сфере их действия. Потому не только Солнце и Луна имеют влияние на движение Земли, но и Меркурий, и Венера, и Марс, и Юпитер, и Сатурн также своим притяжением имеют значительное влияние на её движение. Подобным образом и Земля соответственным притяжением влияет на движение каждого из этих тел. Второе предположение то, что все тела, раз приведённые в прямолинейное и простое движение, будут продолжать двигаться по прямой линии, если не будет какой-либо другой действующей силы, отклоняющей их и принуждающей двигаться по кругу, эллипсу или другим более сложным кривым линиям. Третье предположение то, что притягательные силы тем значительнее обнаруживают себя, чем ближе тело, на которое они действуют, находится от центра действия. В какой степени это увеличение зависит от расстояния, это я ещё не определил опытом. Если исследовать эту идею, как она того заслуживает, то она, несомненно, окажется очень полезной астрономам, дабы привести все небесные движения к определённому правилу, чего, полагаю, иначе достичь нельзя».

Идеям Гюка недостаёт математической завершённости. Астроном Галлей предпринял в 1684 г. попытку рассчитать притягательное действие Солнца на планеты, комбинируя третий закон Кеплера с формулой центростремительной силы, направленной к Солнцу и обратно пропорциональной квадрату расстояний. Но трудности математической обработки этой идеи оказались столь велики, что он был не в состоянии справиться с ними и обратился за помощью сначала к Гуку, а затем и Ньютону. У Ньютона он нашёл полностью разработанную систему механики неба.

При решении этих важных принципиальных задач маятник. большую роль сыграло исследование одной частной проблемы, проблемы маятника. Помимо её исключительного практического значения (часы), она в сильной степени способствовала уяснению принципов динамики и была одной из первых задач динамики системы. Эта задача прошла в XVII в. следующие стадии.

Прежде всего Галилей. Он открывает закон изохронности колебаний маятника при малых амплитудах и устанавливает пропорциональность периода маятника квадрату его длины.

Затем в 1646 г. «человек-журнал» Мерсенн ставит задачу: найти форму тяжёлого подвешенного тела, которое совершало бы колебания одинаковой продолжительности с математическим маятником заданной длины. Если рассматривать тело, как совокупность маятников различных длин и, следовательно, колеблющихся с разными периодами, то сила связи между ними должна привести к выравниванию этих времён качания. Таким путём Декарт приходит к выводу, что в маятнике должен существовать некоторый центр качания, относительно которого выравниваются периоды качания так, что если бы вся масса тела была сосредоточена в этом центре, то получился бы математический маятник с периодом, равным заданному. Таким образом, все тела, имеющие центры качаний на одинаковых расстояниях от осей, будут качаться с одинаковыми периодами. Тем самым Декарт свёл задачу вычисления периода физического маятника к задаче нахождения центра качаний и решил эту задачу для плоских фигур с осью, лежащей в плоскости фигуры. Роберваль решил задачу для некоторых плоских фигур с осью вращения, перпендикулярной плоскости фигуры. Полное решение задачи было дано Христианом Гюйгенсом в знаменитом сочинении «*Horologium oscillatorium*», вышедшем в 1673 г. Это небольшое по объёму сочинение, заключавшее теорию кругового движения циклоидального маятника, физического маятника, составило эпоху в развитии механики, подготовив почву для работ Ньютона.

Теоретические изыскания Гюйгенса были тесно увязаны с практической задачей конструкции точных часов. Маятник был надёжным средством, обеспечивающим равномерность их хода. Найденная им конструкция маятниковых часов была запатентована 16 июня 1657 г. и описана в сочинении «*Horologium*», вышедшем в 1658 г. Продолжая работать над улучшением конструкции часов, он осуществил в 1674 г. проект пружинных часов. Показательно, как свидетельство актуальности проблемы, что вокруг изобретений Гюйгенса разгорелся спор о приоритете. После публикации Гюйгенса ученик Галилея Вивиани опубликовал найденный им в бумагах Галилея проект последнего часов с маятником. В качестве соперника Гюйгенса называли также имя часовщика Поста Бюрги, умершего в 1632 г., а приоритет в изобретении пружинных часов оспаривал неутомимый Гук.

В теоретическом обосновании своих практических изобретений Гюйгенс отталкивался от работ Галилея. Во второй части своих «Маятниковых часов», в предложении восьмом, Гюйгенс доказывает, что движение по кривой линии можно рассматривать как движение по неограниченно боль-

шому числу наклонных плоскостей, связывая тем самым задачу криволинейного движения с исследованным Галилеем движением по наклонной плоскости. Следуя Галилею, Гюйгенс доказывает теорему 9: «Падение с равных высот до одного и того же уровня приводит к одинаковым конечным скоростям независимо от формы пути. Справедливо и обратное утверждение, что тело, упавшее с какой-либо высоты, поднимается за счёт полученной скорости до первоначального уровня» (предложение 10). Всё это даёт возможность ввести в динамику новый энергетический принцип, что общ. й центр тяжести около горизонтальной оси поднимется до первоначальной

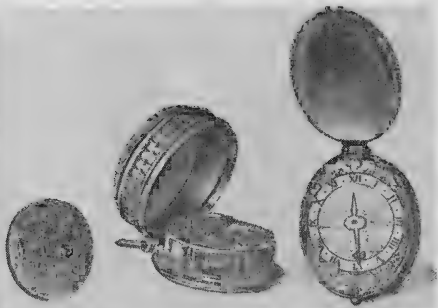


Рис. 81. Карманные часы XVI в.

альной своей высоты и ни в коем случае не выше. Отправляясь от этого принципа, Гюйгенс строит теорию физического маятника.

Результат, полученный Гюйгенсом для приведённой длины физического маятника, позволяет применить к вычислению его периода закон простого маятника, установленный также Гюйгенсом. В предложении 21 Гюйгенс утверждает, что падение по ряду наклонных плоскостей, содержащихся между одинаковыми горизонталями, совершается тем быстрее, чем больше наклонена плоскость (чем короче её длина).

Обобщая этот результат, известный ещё Галилею, Гюйгенс приходит к основному предложению 25: «Падение и восхождение по циклоиде требует времени, относящегося к времени вертикального падения по её оси, как окружность круга относится к диаметру, и высота начальной точки не изменяет этого времени (таутохронность циклоид)». Построив круг, соприкасающийся с циклоидой в нижней её точке, Гюйгенс доказывает предложение 26: «Время одного малого колебания кругового маятника относится к времени падения по двойной длине маятника, как окружность круга относится к диаметру».

$$\frac{T}{t} = \frac{2\pi R}{2R}, \quad t = \sqrt{\frac{4l}{g}},$$

откуда

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$



Гюйгенс.

рения. Действие центростремительной силы он определяет расстояниями касательной от окружности, характеризующими уклонение движущейся точки от прямолинейного пути по инерции. Нетрудно показать, что уклонение $\delta = AC$ (рис. 82) будет пропорционально квадрату скорости и обратно пропорционально радиусу. В самом деле, отрезок касательной AD , проходимый в инерционном движении за малый промежуток времени τ , пропорционален этому промежутку, а уклонение $\delta = AC = DB$, проходимое ускоренным движением, пропорционально τ^2 :

$$S = v\tau, \quad \delta = \frac{1}{2} a\tau^2.$$

Так как

$$S^2 = (2R - \delta)\delta = 2R\delta - \delta^2 \approx 2R\delta,$$

то

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

Дадим биографическую справку.

Христиан Гюйгенс — сын богатого голландского дворянина, секретаря принца Оранского Константина. Гюйгенс родился 14 апреля 1629 г. Образованный и одарённый отец преподавал ему начала математики и механики, но предполагал подготовить сына к юридической деятельности, и в шестнадцатилетнем возрасте Гюйгенс поступает в Лейденский университет изучать право. Однако здесь он предаётся почти целиком математике, механике и астрономии. В нём соединяются блестящие математические дарования с прекрасными практическими навыками. Вместе с братом Константином опилифует оптические стёкла и с усовершенствованной трубой находит спутника и кольца Сатурна. Мы уже упоминали в тексте о его работе над часами.

В числе разнообразных математических результатов Гюйгенса упомянем о разработке им задач теории вероятностей.

Гюйгенс сейчас же указал на важное приложение полученного результата: измерение длины временем, предложив принять $\frac{1}{3}$ длины секундного маятника за эталон длины — нормальный фут. Ему же принадлежит идея об измерении ускорения длиной секундного маятника.

Гюйгенс устанавливает далее, что изохронность колебаний кругового маятника является приближённым и что действительно изохронным маятником является циклоидальный. Найдя, что развёртка циклоиды является также циклоидой, Гюйгенс предлагает следующую конструкцию изохронного маятника для часов. Маятник подвешивается на нитке, к обеим сторонам которой прилегают циклоидальные металлические полосы. Тогда его чечевица будет двигаться по циклоиде.

Наконец, в том же сочинении Гюйгенс, как было упомянуто выше, даёт закон центростремительного уско-

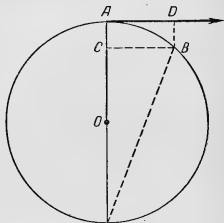


Рис. 82.

В 1663 г. Гюйгенс был избран членом Лондонского королевского общества, а в 1666 г. членом только что организованной Парижской академии и жил в Париже до 1681 г., когда отмена Нантского эдикта заставила его вернуться на родину. При его деятельном участии Олаф Рёмер производит в Парижской обсерватории наблюдения над спутниками Юпитера, завершившиеся измерением скорости света.

На родине Гюйгенс занимается шлифовкой стёкол, оптическими и космогоническими проблемами. Умер он 8 июня 1695 г.

Итог развития механики в XVII в. до Ньютона таков: были установлены принципы динамики, решены основные задачи теории удара, подготовлена почва для открытия закона тяготения. Все эти спорадические результаты надлежало обобщить и завершить созданием классической механики, что и было выполнено Ньютоном.



Паскаль.

Гидростатика и гидродинамика.

Существенные результаты были получены и в механике сплошных сред. Трактаты Стевина, Галилея и Паскаля заложили основы гидростатики, восстановив в правах Архимеда и дав новое обоснование его знаменитому закону. Стевин в своих «Принципах равновесия» (1586) доказывает закон Архимеда, опираясь на принцип отвердевания. Представим себе жидкость в сосуде, находящуюся в равновесии. Очевидно, что равновесие не будет нарушено, если часть жидких частиц утратит свою подвижность и некоторый объём внутри жидкости приобретёт свойства твёрдого тела. Так как этот объём находится в равновесии, то очевидно, что вес его уравновешивается равнодействующей сил давлений со стороны, окружающей выделенный объём жидкости. Таким образом, на тело, погружённое в жидкость, действует сила, направленная вертикально снизу вверх и равная весу жидкости в объёме тела.

Рис. 83—84. Доказательство гидростатического парадокса (по Стевину).

В том же сочинении Стевин доказывает экспериментально и теоретически гидростатический парадокс — независимость весового давления от формы сосуда — и вычисляет давление на боковую стенку (рис. 83, 84). Все эти расчёты нужны ему для выяснения условий плавания тел, в первую очередь кораблей. Стевин писал свои работы на голландском языке, поэтому вполне понятно, что они остались неизвестными Галилею и Паскалю. Галилей в своём «Рассуждении о телах, пребывающих в воде», опровергая мнение перипатетиков о зависимости плавания от формы тел, восстанавливает закон Архимеда. Чрезвычайно существенно, что своё доказательство Галилей обосновывает принципом виртуальных перемещений. Возражение перипатетиков, что всякая плоская пластина должна плавать, Галилей опровергает опытом, согласно которому плоская пластина большего удельного веса, чем вода, не всплывает. В погружении или плавании

тел играет роль плотность. Так, восковой шарик тонет в воде, но если к ней подбавить соли, то при надлежащей концентрации он всплывает. Интересно отметить, что признавая факт плавления плоских тяжёлых пластин, Галилей указал, что такие пластины плавают в углублении поверхностной плёнки. Точно так же Галилею известен факт образования капель на капустных листьях и растекание их при смачивании красным вином. Ог

испытующего взора великого учёного не ускользнули, таким образом, и явления, связанные с поверхностным натяжением жидкостей. Его ученики в Флорентийской академии (в особенности Борелли) вплотную приступили к изучению явлений капиллярности. Но время для объяснения этих явлений ещё не настало.

Паскаль в своём трактате о равновесии жидкостей разбирает вопрос наиболее исчерпывающим образом: закон всесторонней передачи давления в жидкости (закон Паскаля), вычисление весового давления и гидростатический парадокс, закон сообщающихся сосудов и принцип гидростатического пресса — всё это он выводит, широко применяя принцип возможных перемещений. Классические исследования Паскаля о равновесии жидкостей перешли почти без изменения в школьные учебники, вместе с его

результатами в изучении атмосферного давления, о которых будет сказано ниже.

Гидродинамика ещё не могла получить столь широкого развития, как гидростатика. Зачатки её мы находим у учеников Галилея — Кастелли и Торичелли. Кастелли в 1628 г., разбирая вопрос о движении жидкости в каналах, установил закон обратной пропорциональности величины скорости движения жидкости площади сечения

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Торичелли, ученик Кастелли, глубоко воспринял идеи Галилея о законах движения и в своём трактате «О движении и о тяжести» (1641) применил динамику Галилея к явлению истечения жидкости из отверстия. Он показал, что скорость вытекания струи равна скорости её падения с высоты уровня в сосуде.

Форма струи, вытекающей из бокового отверстия, должна быть параболической. Трактат Торичелли стал известен Галилею, и Кастелли представил знаменитому учёному молодого Торичелли. Последний год жизни Галилея Торичелли провёл с ним в качестве ученика и преемника.

Торичелли не только воспринял идеи Галилея, но и развил их дальше. Галилей в своей критике физических концепций Аристотеля остановился на полпути в вопросе о боязни пустоты. Опираясь на опыт флорентинских водопроводчиков, согласно которому вода не может быть вытнута насосом на высоту более 10 с небольшим метров, Галилей считал, что сила «боязни пустоты» ограничена и не может превышать веса указанного столба воды. Галилей предложил и другой способ определения этой силы: в выточенном цилиндре, ко дну



Торичелли.

Атмосферное
давление.

его плотно пригоняется поршень. Вес груза, который может оторвать поршень от дна, может служить показателем силы сопротивления образованию пустоты.

Продолжая исследования Галилея, Торичелли решил заменить водяной столб ртутью. Опыт, поставленный в 1643 г. Вивiani по его указанию, вполне оправдал его ожидания. В трубе образовалась пустота, и высота ртутного столба была меньше высоты водяного столба приблизительно в 14 раз. Самый факт получения пустоты и образования ртутного столба, казалось, подтверждал мысль Галилея об ограниченности силы, «боязни пустоты». Торичелли, повторяя сам опыты с ртутным столбом, скоро отбросил эту мысль. Высота ртутного столба колебалась, и Торичелли пришёл к заключению, что этой высотой измеряется весовое давление воздуха. Таким образом, он получил два замечательных результата: доказал возможность получения пустоты и доказал существование атмосферного давления. Его самого интересовал больше всего второй.

Опыты Торичелли вызвали широкий резонанс. По его способу стали получать вакуум флорентинские академики и другие учёные Европы. «Пустота» стала объектом физического исследования. Декарт выдвинул идею измерения атмосферного давления на различных высотах. Идея эта была реализована Паскалем¹.

Паскаль узнал об опытах Торичелли в 1644 г. Он повторил их с ртутью, водой, вином, ещё стоя на точке зрения «боязни пустоты». Но ознакомившись в 1647 г. с трактатом Торичелли, Паскаль ищет веских доказательств правильности воззрений Торичелли. Поставленный им опыт на горе Пюи-де-Дом высотой 4300 футов явился тем *experimentum crucis*, который окончательно решил вопрос в пользу новой теории. Разница в высоте ртутного столба на горе и у подношья составила 15 линий.

Дальнейшими исследованиями Паскаль ещё более укрепил теорию воздушного давления. Он подтвердил наблюдения Торичелли о колебаниях ртутного столба и поставил их в связь с погодой. На основе теории воздушного давления он объяснил действие сифона. Он показал, что разность атмосферных давлений играет существенную роль, и продемонстрировал принцип сифона опытом с ртутным сифоном в воде. По теории Паскаля, водяной сифон с разностью высот 10,3 м не будет работать, как это и наблюдается. Так героновое объяснение действия сифона заменилось более совершенным.

Исследования Паскаля послужили толчком к решению новой задачи: *определение высоты места по показанию барометра*. Мариотт в 1676 г.



Рис. 85. Опыт Паскаля.

¹ Блез Паскаль родился 19 июня 1623 г. в Клермон-Ферране. Ещё ребёнком Паскаль обнаружил феноменальные математические способности; его успехи в геометрии привлекли к изумлению Роберваля и Мерсенна. 16 лет от роду Паскаль написал выдающийся трактат о конических сечениях. Значительных результатов Паскаль добился в области теории чисел, теории вероятностей и комбинаторики. К сожалению, научная деятельность Паскаля оборвалась рано, и вторая половина его короткой жизни проходит в размышлениях над религиозно-философскими вопросами. Его блестящие «Письма провинциала», написанные против иезуитов, положили начало новой французской литературы. Умер Паскаль в 1662 г.

наметил такой путь решения этой задачи. Вся высота атмосферы делится на слоёв равного веса так, что в каждом слое давление падает на $\frac{1}{12}$ линии



Отто Герике.

ртутного столба. Таким образом, высота ртутного столба, равная 28 дюймам, на уровне моря будет убывать ступеньками по $\frac{1}{12}$ линии до нуля на границе атмосферы. Так как в парижском дюйме содержится 12 линий, то число таких ступенек будет $28 \cdot 12 \cdot 12 = 4032$. Высота этих ступеней не одинакова. По наблюдениям Мариотта высота первого воздушного слоя, на протяжении которого давление падает на $\frac{1}{12}$ линии, составляет 5 футов. По найденному Мариоттом закону, высота второго слоя определится из пропорции

$$\frac{\Delta H_2}{5} = \frac{4032}{4031}$$

третьего

$$\frac{2\Delta H_3}{5} = \frac{4032}{4030}$$

и если на какой-либо высоте H давление составляет h двенадцатых долей линии, то толщина слоя

$$\frac{\Delta H}{5} = \frac{4032}{h}$$

Сама же высота

$$\begin{aligned} H &= \Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots \\ &+ \Delta H_{n-1} = \frac{4032}{4032} \cdot 5 + \\ &+ \frac{4032}{4031} \cdot 5 + \frac{4032}{4030} \cdot 5 + \dots \\ &+ \frac{4032}{4032-(h-1)} \cdot 5. \end{aligned}$$

Мариотт заменил эту сумму арифметической прогрессией с числом членов, равным числу слагаемых, и теми же первым и последним членами. Неточность подсчёта в соединении с неточностью основных предпосылок привела Мариотта к результату, значительно расходящемуся с опытом. Через 10 лет после Мариотта Галлей представил Королевскому обществу мемуар, в котором дал вывод барометрической формулы, написанной им в виде

$$H = \frac{(\lg 30 - \lg a) \cdot 900}{0,0144765}$$

Здесь H — высота над уровнем моря в английских футах, a — барометрическая высота на уровне H , причём на уровне моря она, по Галлею, равна 30 англ. дм., удельный вес воздуха он принимает равным $1/800$, а ртути 13,5. Исправление и уточнение формулы Галлея было дано уже в XVIII в. (Делюк, затем Лаплас).

Исследования Паскаля, Мариотта, Галлея привели к окончательному подтверждению мысли Торичелли о воздушном давлении и послужили отправным пунктом в метеорологических наблюдениях (барометры). Другая сторона открытия Торичелли — получение вакуума — также привела к важным следствиям.

Здесь прежде всего следует упомянуть флорентинских академиков — прямых продолжателей дела Галилея и Торичелли. Флорентинская академия (*Accademia del Cimento*) была учреждена в 1657 г. Девять членов академии (Борелли, Кандидо Буоно, Паоло Буоно, Магалотти, Марсили, Олива, Реди, Ринальдини, Вивiani) вели строго коллективную работу, результаты которой были опубликованы в сборнике «*Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento*», вышедшем в 1667 г. Сборник состоит из 13 глав. Уже первая глава даёт возможность

почувствовать революцию научного метода. В ней описаны вновь построенные измерительные приборы: термометр (спиртовой), ареометр, гигрометр, маятник с бициклярным подвесом. Во второй главе речь идёт об опытах Торичелли и описан ряд опытов в торичеллиевой пустоте. В двенадцатой главе описываются опыты над падением тел, подтверждающие результат Галилея.

Вслед за академиками изучением вакуума занимались Герике и Бойль, изобретатели воздушного насоса.

Известия об опытах Герике с воздушным насосом появились значительно ранее его сочинения, вышедшего в свет в 1672 г. под титулом: «Новые магдебургские опыты о пустом пространстве». Впервые описание опытов Герике появилось в сочинении иезуита Каспара Шотта «Гидравлико-пневматическая механика» (1657). Несмотря на то что в этой книге говорится не только о торичеллиевой пустоте, но и дано описание воздушного насоса, автор всё ещё придерживается аристотелевского *horror vacui*, утверждая, что аристотелева пустота не является таковой, а лишь весьма разреженным воздухом. Герике, допуская возможность существования пустоты, считал



Рис. 86. Титул «Новых опытов» Герике.

необходимым обосновать этот взгляд философскими соображениями. Герике указывал:

1) На громадность вместилища всех тел природы, которого нельзя заполнить материей. «Все эти тела (Солнце, планеты, звёзды и кометы), вместе взятые, в сравнении с сим вместилищем можно представить себе не более, как малейшей частицей, или атомом».

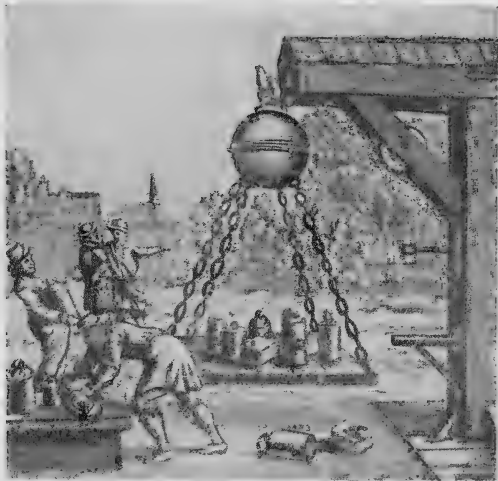


Рис. 87. Опыт Герике.

2) На ошибочность аргументации Аристотеля, что пустота не может быть причиной явлений и потому не может быть допущена в природе.

«Но пустота может быть причиной явлений... Пустота есть причина явления избегания пустоты, причина наполнения: не было бы пустоты, не было бы и наполнения и многих других опытов. Следовательно, пустота должна быть допущена философом... Возможность образовать пустоту мы докажем многочисленными опытами».

Вначале Герике пытался получить пустоту откачиванием воды из наполненной бочки, но это не удавалось: место воды сейчас же занимал воздух. После этого Герике осуществил воздушный насос, привинченный к медному шару. Оказалось, что по мере разрежения поршень насоса с трудом вытягивался работниками (рис. 87). Тогда Герике укрепил цилиндр насоса на треножнике, привинченном к полу, и снабдил рукоятку поршневого штока рычагом (рис. 88). С этим насосом Герике осуществил ряд опытов с целью демонстрации воздушного давления, в том числе знамени-

тый опыт с магдебургскими полушариями, описанный им следующим образом:

«Я заказал два медных полушария приблизительно в $\frac{3}{4}$ магдебургских локтя в диаметре или точнее, — так как мастера не очень-то заботятся о строгом соблюдении заказанных размеров — в шестьдесят семь сотых локтя. Обе половины были совершенно одинаковы. Одна половина была снабжена краном или скорее клапаном, посредством которого мог извлекаться внутренний воздух из шара. Кроме того, на обоих полушариях были железные кольца с пропущенными через них верёвками для выиргания лошадей. Затем я заказал кожаное кольцо, пропитанное раствором воска в терпентине, чтобы оно не пропускало воздуха. Это кольцо было положено между полушариями, и из них был быстро выкачан воздух. При этом полушария оказались прижатыми к кожаному кольцу настолько сильно, что шестнадцать¹ лошадей либо вовсе не могли разорвать их, либо разрывали с великим трудом. Когда разрыв происходил, то слышался звук вроде ружейного выстрела. Когда в пустоту полушарий вводился воздух, то разнять их было очень легко»².

Насос дал возможность Герике продемонстрировать эффективным образом давление воздушного океана и построить новый прибор для наблюдения колебаний этого давления — бароскоп. Из медного шара диаметром около 1 фута выкачивался воздух, и затем шар уравнивался на коромысле весов тяжёлым небольшим противовесом (рис. 92). При изменении плотности воздуха равновесие нарушалось и стрелка весов отклонялась в ту или иную сторону. Для той же цели служил водяной барометр с указателем в виде человечка, плавающего на поверхности водного столба. Герике начал применять барометр для предсказаний погоды и, в частности, предсказал бурю 9 декабря 1650 г.³

Из других важных применений насоса упомянем о произведённом Герике измерении плотности воздуха, о доказательстве необходимости среды для звука («звон в пустоте»). Герике же показал, что для горения нужен воздух.

Соперником Герике в деле изобретения насоса был знаменитый химик Роберт Бойль (1627—1691).

Исследования Герике, о которых Бойль узнал из сочинения Шотта, побудили его заняться конструкцией насоса и экспериментами в вакууме. Насос Бойля был совершеннее первоначальной формы насоса Герике и благодаря червячной передаче на поршневой шток мог приводиться в действие одним человеком. Результаты своих опытов по получению вакуума Бойль изложил в сочинении «*New experiments physico-mechanical, touching the spring of the air*» (1660). Здесь, между прочим, описано понижение ртутного столба при откачке, прекращение действия сифона в пустоте и понижение точки кипения воды при понижении давления.

Несмотря на достижения Герике и Бойля, идея атмосферного давления внедрялась с трудом. Лютийский профессор Линус высказал мысль, что столб ртути в барометре удерживается особыми невидимыми нитями. Возражая Линусу, Бойль решил показать, как воздухом можно уравновесить столб ртути, и, взяв изогнутую трубку с запаянным коротким концом, подливал в открытый конец длинного колена ртуть. Сжимаемый воздух уравнивал всё более и более длинный столб ртути. Индуктивно

¹ Разумеется, не шестнадцать, а восемь.

² Герике демонстрировал опыт с полушариями перед членами рейхстага в Регенсбурге 8 мая 1654 г.

³ Это, конечно, не означает, что барометр «предсказывает» погоду.

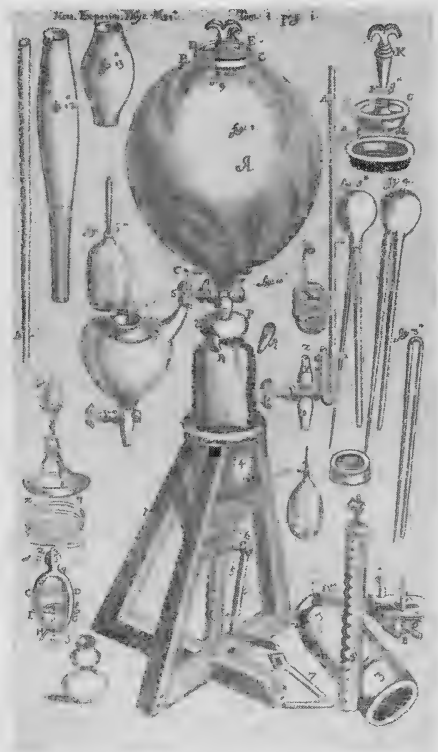


Рис. 88. Воздушный насос Бойля.

эмпирическое мышление Бойля характеризует тот факт, что он не заметил закономерности, связывающей высоту ртутного столба в открытом колене с объёмом воздуха в закрытом колене. Эта закономерность была подмечена учеником Бойля Ричардом Тоунлеем, который установил из таблиц Бойля, что объём воздуха обратно пропорционален давлению. Бойль признал справедливость этого вывода и доказал его для давлений ниже атмосфер-

ного. Опыты и закон описаны в сочинении «Защита доктрины, касающейся упругости и веса воздуха» (1662). Независимо от Бойля газовый закон был открыт аббатом Мариоттом (1620—1684). Вопросам механики жидкостей и газов посвящены его сочинения: «Опыт о природе воздуха» (1676) и «Трактат о движении воды и других жидкостей» (1686).

В первом из этих сочинений Мариотт выводит газовый закон из многочисленных опытов, применяя давления, большие и меньшие атмосферного.



Рис. 89—90. Опыт Герике с магдебургскими полушариями.

Здесь же он выводит барометрическую формулу (см. выше). Во втором сочинении Мариотт подтверждает закон Торичелли, исследует высоту поднятия фонтанов и т. д.

В дальнейшем усовершенствованиями насоса занимались: Гюйгенс, введший тарелку, колокол и манометр, Папин, заменивший край клапаном, Штурм, сконструировавший воздушный насос с двумя клапанами, и др.

Теплота и метеорология.

Развитие техники эксперимента отразилось и в области изучения тепловых явлений. Мы знаем, что древние рассматривали теплоту и холод как особые полярно-противоположные качества тел. Большого, чем эти крайне смутные и неопределённые представления, и нельзя было требовать от древней науки, в которой фактические сведения о тепловых явлениях ограничивались элементарными первичными наблюдениями. Галилей первым сделал попытку перехода от неопределённых тепловых ощущений к более объективным показаниям теплового состояния тел, сконструировав первый термометр, вернее, термоскоп. Этот термоскоп, который Галилей демонстрировал на своих лекциях в Падуе в 1597 г.¹, имел следующее устройство.

¹ Другой термоскоп был изобретён Дреббелем в 1604 г.

Стеклянный шарик, заканчивающийся трубкой с открытым концом, слегка подогревался, и трубка открытым концом опускалась в воду. Вода поднималась по трубке, и высота подъёма изменялась вместе с изменением температуры. Очевидно, что на показания термометра Галилея влияла не только температура, но и давление атмосферы; к тому же прибор не имел шкалы. Всё же первый шаг в термометрии был сделан. Флорентийские

SECOND ESSAY.
DE LA
NATURE
DE L'AIR,

Par M^r. MARIOTTE,
de l'Academie Royale
des Sciences.



À PARIS,
Chez ESTIENNE MICHALLET,
rue Saint Jacques, à l'Image
Saint Paul.

M. DC. LXXIX.

Avec Permission.

Рис. 91.

Титул трактата Мариотта
«Опыты о природе воздуха».

изменение влажности приводило к изменению длины шнура, что и отмечалось указателем. Даленсе в трактате о барометрах, термометрах и гигрометрах описывает конструкцию гигрометра, состоящего из слабо натянутой бумажной или кожаной полоски, к середине которой подвешен груз. Отметим, что в этом же трактате Даленсе предлагает воспользоваться в качестве постоянных точек термометра точками таяния льда и коровьего масла.

Расширение экспериментальной базы повлекло и к расширению запаса научных сведений. Был открыт факт расширения воды при замерзании (флорентийские академики, Бойль), наблюдалось распространение тепловых лучей (понижение показаний термометра, поставленного в фокусе вогнутого зеркала, перед которым помещалась глыба льда (флорентийские академики), закипание воды при пониженном давлении (Бойль). Вообще же зависимость точки кипения от давления была установлена Папином (1647—1712), который в 1691 г. опубликовал описание своего котла с предохранительным клапаном.

Впервые Леонардо да Винчи упоминает о капиллярных явлениях. Опыт Торичелли возбудил интерес к этим явлениям, которые, казалось,

академики радикально улучшили термометр снабдив его шкалой из бусин и, удалив воздух из резервуара и трубки. Хотя шкала термометра академиков оставалась произвольной, им всё же удалось констатировать постоянство точки плавления льда. Повидимому, Герике был одним из первых, кто осознал необходимость нанесения постоянных точек на термометрической шкале. Однако его постоянные точки (средняя температура заморозков в Магдебурге и летняя температура) были весьма неопределёнными и не обеспечивали единообразия показаний. Усовершенствование термометров, связанное с именами Ньютона, Амонтона, Делиля, Ломоносова и, наконец, Фаренгейта, Реомюра и Цельсия, увенчавшееся построением единообразной шкалы, относится уже к XVIII в.

Наряду с барометром и термометром физика и геофизика получали в XVII в. гигрометр. Гигрометр флорентийских академиков представлял жестяную воронку, наполненную толчёным льдом. Пары конденсировались на поверхности воронки и стекали в подставленный измерительный сосуд.

М о л и н е (1656—1698) предложил гигрометр из пенькового шнура, снабжённого грузом и указателем на конце. Изме-

имели ту же природу, что и барометрическое поднятие ртути. Но Борелли (1670) показал, что капиллярные поднятия имеют место и в вакууме. Им была найдена зависимость высоты поднятия жидкости в капиллярах от диаметра и предложена своеобразная теория капиллярности: водяные частицы снабжены ветвями-рычагами, зацепляясь которыми за шероховатости стенок трубки, они поднимаются, пока вес столба жидкости не компенсирует потерю тяжести частицами, вследствие действия рычагов. Опускание ртути в капиллярах нашёл Фосс в 1666 г.

Начала развиваться и наблюдательная метеорология, вооружённая такими приборами, как барометр и термометр. Начались систематические наблюдения за давлением, температурой, осадками, влажностью. Не было также недостатка в создании разнообразных теорий, касающихся происхождения водяных паров в атмосфере, природы метеоров и т. д. Начались и правильные градусные измерения (1615—1617). Голландский математик Виллеброрд Снеллиус впервые измеряет методом триангуляции расстояние от Альпара до Лейдена и находит длину одного градуса в 55 100 туазов. Вычисления Снеллиуса были проверены Мушенбреком, который установил, что длина градуса, по данным Снеллиуса, в действительности равна 57 033 туазам. Ньютон не знал об этой ошибке в вычислениях и смог вернуться к своей гипотезе тяготения только после измерений Пикара (предпринятых в 1669—1670 гг.), нашедшего длину градуса равной 57 060 туазам.



Рис. 92. Бароскоп Герике.

Электричество и магнетизм.

Нам осталось рассмотреть достижения доньютоновской физики в области изучения электричества, магнетизма и света. Младенческая пора в истории электричества и магнетизма заканчивается Портой. Новая эра в изучении электромагнитных явлений открывается знаменитым сочинением Гильберта¹ «О магните, магнитных телах и о большом магните. Новая физиология» (1600 г.).

Отказавшись от фантастических домьслов и басен, Гильберт в своих исследованиях применяет к электрическим и магнитным явлениям *экспериментальный метод*. Результаты, полученные им таким путём, поистине замечательны.

¹ Вильям Гильберт, придворный врач английской королевы Елизаветы, родился в 1540 г., умер в 1603 г.

Вопреки общепринятому в то время мнению, по которому компас направляется к некоторой небесной точке, Гильберт полагает причиной направляющего действия на магнитную стрелку магнетизм Земли. Для проверки своей теории он изготовляет намагниченный шар и показывает, что магнитная стрелка на этом шаре ведёт себя, как компас на земной поверхности, наклоняясь на разных широтах под разными углами. Значительно труднее Гильберту было объяснить магнитное склонение, так как он полагал, что географические и магнитные полюса совпадают. Ему пришлось допустить, что вода океанов немагнитна, что и обуславливает отклонение стрелки вблизи берегов.



Роберт Бойль.

Продолжая исследование магнитных явлений, Гильберт открыл магнитную индукцию. Он установил, что стальной якорь усиливает магнитное действие, что железо и сталь намагничиваются влиянием, причём сталь сохраняет магнитные свойства. Ему удалось намагнитить железные проволоки магнитным полем Земли. Наконец, ему же принадлежит открытие факта неотделимости магнитных полюсов.

Обратившись к электрическим явлениям, Гильберт нашёл, что свойством притяже-

ния обладает не только натёртый янтарь, а и ряд других тел (алмаз, сапфир, аметист, горный хрусталь, сланцы, сера, смолы и др.), которые он назвал электрическими, введя, таким образом, этот термин в науку. Ему удалось наэлектризовать свыше двух десятков тел. Другие же тела, и в первую очередь металлы, как он полагал, не электризуются. Сравнение электрических и магнитных явлений привело Гильберта к убеждению в глубоком их различии. Своё мнение он обосновывал следующими доводами:

1) Электрические свойства возбуждаются (трением), магнитные же присущи намагниченным телам по природе.

2) Магнитные действия бывают двух родов: притягательные и отталкивательные, электрические же — только притягательные (электрических отталкиваний Гильберт не знал).

3) Электрические притяжения слабее магнитных, но зато универсальны.

4) Электрическую силу можно уничтожить влажностью, магнитную — нет.

В соответствии с этим Гильберт полагает, что магнетизм, так же как и тяжесть, есть некоторая изначальная сила, исходящая из тел, в то время

как электризация обусловлена выжиманием из пор тела особых истечений, в результате трения. Роль обеих этих сил в природе оказывается, таким образом, глубоко различной. Это подчёркивание Гильбертом различной природы электричества и магнетизма наложило глубокий отпечаток на всю последующую историю электромагнетизма, в которой до Ампера и Фарадея обе группы явлений рассматривались изолированно друг от друга.

Сочинение Гильберта явилось уникалом, и в XVII в. к его результатам было добавлено мало. Галилей в «Диалоге» подтверждает наблюдение Гильберта об усилении действия магнита арматурой и в следующих замечательных выражениях характеризует историческую роль Гильберта:

«Воздаю хвалу, дивлюсь, завидую Гильберту. Он развил достойные удивления идеи о предмете, о котором трактовало столько гениальных людей, но который ни одним из них не был изучен внимательно. Высочайшей похвалы заслуживает он, по мнению моему, за то, что произвёл такое количество новых и точных наблюдений, к посрамлению пустого и лживого автора¹, который не только пишет о том, что сам знает, но передаёт всё, что пришло к нему от невежественных глупцов, не забоясь проверить опытом сообщённое и, повидимому, затем, чтобы книга была толще. Гильберту недостаёт только побольше математики и особенно геометрии. Большое знакомство с нею не позволило бы ему так решительно признавать доказательством те основания, которые он приводит как причину фактов, им правильно наблюденных».

Я не сомневаюсь, что со временем эта отрасль науки сделает успехи как вследствие новых наблюдений, так и в особенности вследствие строгой методы доказательств. Но это не умаляет славы первого изобретателя. Я первого изобретателя лиры — как ни груб по устройству и звуку был его инструмент — ставлю не только не ниже, а много выше сотни других художников, которые довели эту отрасль до совершенства. Другие основательно, по мнению моему, первых изобретателей благородных инструментов причисляли к богам... От простейших вещей восходить к великим открытиям и под первыми ребяческими очертаниями предчувствовать скрытое удивительное искусство не дело дюжинных людей: такие прозрения и мысли принадлежат гениям сверхчеловеческой силы».

Поразительна прозорливость Галилея, предугадавшего развитие математической теории электромагнитных явлений и правильно оценившего основополагающее значение работ Гильберта. Труды «дюжинных людей» XVII в., вроде «Магнитного искусства» Кирхера (1634) и «Магнитной философии» Кабео (1639), представляют шаг назад по сравнению с творением Гильберта. Описание забав и фокусов (вроде «магнитного ежа») сочетается



Рис. 93. Барометр из «Трудов Флорентийской академии».

¹ Галилей имеет в виду Порту.

в них с фантастическими вымыслами, схоластическими теориями и с крупицами действительных наблюдений. Только Герике, построившему прообраз электрической машины (серный шар, вращавшийся на железной оси, электризовался трением об руку), удалось сделать существенные наблюдения: электрическое отталкивание и распространение электрической силы по проводнику, но его открытия остались незамеченными.

Значительно больших результатов, представляющих большой практический интерес, удалось достичь в области земного магнетизма. В 1625 г. Генри Геллибранд открывает вариацию магнитного отклонения



Рис. 94. Опыты Герике по электричеству.

и результаты своих наблюдений публикует в 1635 г. С тех пор становится ясной необходимость систематического изучения элементов земного магнетизма. Многолетние наблюдения и экспедиции делают особенно ценными работы Галлея, опубликовавшего первые карты с изогоническими линиями и выдвинувшего теорию вариации склонения. Работы Галлея падают на последние годы века (1683—1702) и завершают первый круг в развитии учения о земном магнетизме.

Исключительный расцвет пережила в XVII в. оптика.

Оптика.

К концу века она превратилась в развёрнутую мощную отрасль физической науки, соревнующуюся в своих успехах с механикой. Вместе с последней она доставила единственно надёжный материал для теоретических обобщений, и теоретическая борьба, развернувшаяся вокруг вопроса о природе света, оставила глубочайший след в истории физики, перерастая в драматический конфликт, нашедший своё разрешение в современной квантовой теории.

Расцвет оптики начался с усовершенствования методов шлифовки оптических стёкол и поисков увеличительных труб. Пионером в развитии оптотехники явилась страна бурно развивающегося торгового капитализма — Голландия. Голландские купцы хорошо понимали значение подзорных труб для мореплавания, а широко развившееся после изобретения очков производство линз не оставляло сомнения в возможности построения такого инструмента. Уже в 1590 г. Захарий Янсен изобретает микроскоп и во второй половине века гениальный Левенгук, добившийся исключительного, для того времени, совершенства своих луп-микроскопов, кладёт начало микробиологии. Конец XVI и начало XVII вв. проходят в напряжённых попытках конструирования зрительной трубы.

Почти одновременно шлифовальщик очков и Миддельбурге Ганс Липерсгей и Яков Мецкус подают заявку на выдачу привилегии на зрительную трубу. В споре о приоритете встречается и имя З. Янсена, что вместе с быстротой распространения изобретения в Европе, несмотря на все старания Генеральных Штатов сохранить его в тайне, лучше всего говорит о его актуальности. Мы ещё не раз встретимся с аналогичной ситуацией в истории науки.

Дальнейшее улучшение конструкции оптических приборов было невозможно без уточнения теории, которая в начале века находилась в зачаточном состоянии. Достаточно сказать, что в ней ещё господствовал птоло-

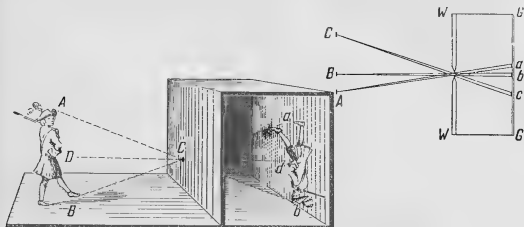


Рис. 95—96. Камера-обскура.

меевский закон преломления и теория зрения, по которой изображение получается в хрусталике. Уточнению закона преломления и исправлению теории зрения посвящена первая четверть века. Почин в этом направлении принадлежит гениальному Кеплеру.

В 1604 г. Кеплер выпустил оптический трактат Вителлона с комментариями. В этих комментариях Кеплер трактует цвета в духе Аристотеля, но в области чисто геометрической оптики он даёт уже много нового. Им разработана простая и ясная теория камер-обскуры, иллюстрируемая следующей моделью: в доске проделывается узкое отверстие, перед доской помещён изображаемый предмет (например книга); бечёвка, проходящая через отверстие, начинаясь от одной из точек изображаемого предмета, туго натянута, и её свободный конец на противоположной стене описывает при движении по краям отверстия фигурку, подобную отверстию. Из большого количества таких фигурок и составляется изображение предмета, уже не зависящее от формы отверстия (рис. 95, 96).

Исследуя преломление, Кеплер устанавливает непригодность закона Птолемея и предлагает новую формулировку, согласно которой угол преломления состоит из двух частей: части, пропорциональной углу падения, и части, пропорциональной секансу угла падения. Кеплер пытался найти связь между преломляющей способностью вещества и его плотностью, но Гарриот прислал ему таблицу, из которой вытекало, что определённой связи между преломляющей силой и плотностью нет.

Крупным шагом вперёд явилась кеплерова теория зрения. Конусы световых лучей, исходящие из различных точек видимого предмета, преломляясь хрусталиком, дают на сетчатой оболочке обратное изображение предмета. Аккомодация глаза достигается, по Кеплеру, либо приближением сетчатки к хрусталику, либо сжатием и расширением последнего. Близорукость и дальновзоркость обусловлены изменением кривизны хрусталика.

Дальнейшее развитие оптика Кеплера получила в его знаменитой «Диоптрике», вышедшей в 1611 г. Пользуясь в качестве первого приближения законом пропорциональности, Кеплер чертит ход лучей в различных линзах и системах линз и даёт проект своей зрительной трубы (рис. 98).

Рассчитывая действие линз, Кеплер находит, что для плосковыпуклой линзы фокусное расстояние равно удвоенному радиусу кривизны, а для двояковыпуклой симметричной линзы равно радиусу кривизны.

Исследуя преломление, Кеплер находит, что для стекла угол преломления не превышает 42° . Основываясь на принципе обратимости светового луча, он делает отсюда важный вывод о существовании полного внутреннего отражения: если свет идёт из стекла в воздух под углом, большим 42° , он преломляться не будет, а полностью отразится.

Теоретические построения Кеплера были подтверждены опытами Шейнера. Теорию зрения Шейнер проверял на опытах с вырезанным бычьим глазом, с задней стороны которого были удалены все оболочки, кроме сетчатки. Кроме того, Шейнер показывает обратный характер изображения на следующем опыте. Если в листе картона сделать булавкой отверстие и рассматривать через него пламя, а затем проводить между пла-

менем и отверстием острием ножа снизу вверх, то глаз увидит исчезающей сначала верхушку пламени. Шейнер занимался исследованием преломляющей способности различных частей глаза и пришёл к выводу, что преломляющая способность хрусталика такая же, как у стекла, у водянистой влаги, как у воды, и у стекловидной — промежуточная между стеклом и водой.

Наконец, Шейнер сконструировал по проекту Кеплера телескоп и применил его для наблюдения солнечных пятен.

В том же 1611 г., в котором вышла «Диоптрика», вышел и трактат Доминиса¹, в котором впервые рассматривается дисперсия света в призме. Теория призматических цветов Доминиса основана на концепции Аристотеля. Свет, прошедший большую толщину в призме, будет смешан с большим количеством тьмы (фиолетовым), свет, прошедший меньшую толщину, будет более ярким (красным). Однако в вопросах о цветах Доминис занимает промежуточную позицию, предполагая существование в природе двух родов цветов: истинных, присущих самим телам, и кажущихся, обусловленных модификацией света на поверхности тел.

Доминис исследовал явление радуги. Это явление было им воспроизведено в стеклянных шарах, наполненных водой, причём Доминис показал,

¹ Марк Антоний Доминис, род. в 1566 г., умер в тюрьме инквизиции в 1624 г.

IOANNIS KEPLERI
S³. C³. M³. MATH³EMATICS
DIOPTRICE

SEV

Demonstratio eorum quæ visui & visibilibus propter Conspiciant ita pridem inventa accidunt.



præmissæ Epistolæ Galilei de yis, quæ post editionem Nancij fiderij opè Perspectivæ, novis & admiranda in cælo deprehensa sunt.

Item

Examen præfationis Ioannîs Pene Galli in Opticâ Euclidis, de usû Optices in philosophia.



AVGVSTAE VINDELICORVM.
typo Davidis Franet.

Cum privilegio Cæsareo ad annos XV.

M. DCXI.

Рис. 97. Титул «Диоптрики» Кеплера.

что радуга получается в отражённом свете. Чередование цветов её, как он думал, вполне подтверждало теорию призматических цветов.

В 1626 г. умер голландский математик Виллеброрд Снеллиус. В его бумагах был найден оптический трактат, содержащий формулировку закона преломления, правда отличную от обычной. Пусть рассматривается точка F на дне сосуда, наполненного водой. Глаз будет видеть её по направлению ODC (рис. 99). Снеллиус нашёл, что отношение отрезков DC и DF (рис. 100) сохраняется постоянным для всех углов падения. Так как

$$AD = DC \sin i = DF \sin r,$$

то

$$\frac{DC}{DF} = \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{\operatorname{cosec} i}{\operatorname{cosec} r},$$

и в окончательной формулировке закон Снеллиуса утверждает постоянство отношения косекансов углов падения и преломления.

Неизвестно, был ли знаком Декарт с трактатом Снеллиуса, как это утверждали Гюйгенс и другие, но во всяком случае ему принадлежит первая печатная публикация закона преломления уже в современной форме. Сам Декарт о Снеллиусе не упоминает и обосновывает свой закон теоретически.

Оптика Декарта изложена в двух приложениях к его «Рассуждению о методе» (1637), и, кроме того, ей посвящён неоконченный космогонический трактат. Свет Декарт рассматривает как процесс передачи давления, оказываемого частицами светящегося тела на окружающую их эфирную среду. Таким образом, Декарт является по существу основателем волновой теории света. Однако Декарт отрицает конечность скорости света и считает, что свет передаётся мгновенно. Но при выводе закона преломления Декарт делает гипотезу, что скорость передачи светового давления конечна и тем больше, чем плотнее среда. Если шарик второго элемента получает в первой менее плотной среде скорость C_1 , а во второй среде скорость C_2 , то по Декарту:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{C_2}{C_1}.$$

Таким образом, отношение синусов углов падения и преломления остаётся постоянным и равным обратному отношению скоростей. Вывод Декарта подвергся резкой критике со стороны Гоббса и Ферма, считавших неприемлемыми основные предпосылки вывода. Ферма выдвинул в противовес Декарту принцип наименьшего времени для светового пути. Этот принцип был применён Героном Александрийским к явлению отражения (см. гл. II). Ферма применил его к преломлению.

Закон преломления получается в виде:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{C_1}{C_2},$$

т. е. показатель преломления равен прямому отношению синусов. Как известно, к тому же результату приводит доказательство Гюйгенса, основанное на его принципе. Гюйгенову доказательству предшествовало рас-



Рис. 98.
Схема трубы
Кеплера.

суждение о «Солдатском фронте», приведённое в 1648 г. патером Меньяном и которое привлекал Барроу в своих лекциях по оптике для обоснования закона преломления. Суть рассуждения сводится к тому, что при переходе из одной среды в другую световой луч меняет направление так же, как меняет направление солдатский фронт, когда луг, по которому идут солдаты, преграждается пашней и граница идёт наклонно фронту. В результате отношение синусов оказывается равным прямому отношению скоростей. Таким образом, по теории Ферма — Гюйгенса скорость света в пустоте должна быть больше скорости света в среде, тогда как по теории Декарта —

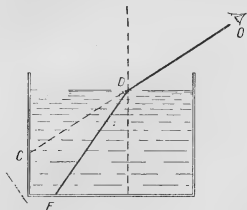


Рис. 99.

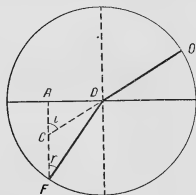


Рис. 100.

Ньютона должно быть наоборот. Как известно, опыт Фуко решил вопрос в пользу первой теории, хотя надо заметить, что в волновой теории вопрос о скорости стоит не так просто, как это думали основатели теории.

Декарт дал и уточнённую теорию радуги. Теория его была чисто геометрической и цветов радуги не объясняла. В качестве первого приближения она прочно вошла в капитал физической науки.

Свои выводы Декарт проверил экспериментально с шаром, наполненным водой. Поднимая шар, он убедился, что цвета появлялись, когда направление отражённых лучей составляло с направлением прямых солнечных лучей угол, равный, приблизительно, 42° . Вначале появлялся красный цвет, затем остальные. При дальнейшем увеличении угла эта внутренняя дуга исчезает и при углах $51-52^\circ$ появляется слабая внешняя дуга. Как мы говорили, Декарт не дал объяснения цветов, и только Ньютон дополнил теорию объяснением чередования цветов и расчётом ширины дуг.

Открытие закона преломления дало возможность приступить к разработке основ расчёта оптических систем. В 1647 г. Б. Кавальери в сочинении «Шесть геометрических упражнений» устанавливает положение, что во всех выпуклых или вогнутых чечевицах с радиусами, обращёнными в противоположные стороны, сумма радиусов кривизны обеих поверхностей чечевицы относится к радиусу кривизны той, которая обращена к параллельно падающим лучам, как удвоенный радиус кривизны другой поверхности к фокусному расстоянию. Формула Кавальери

$$\frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{2R_2}{F},$$

очевидно, вытекает из формулы

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \left\{ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right\},$$

если положить $n = \frac{3}{2}$.

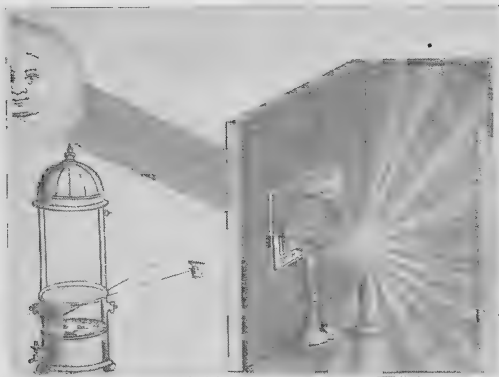


Рис. 101. Преломление и рассеяние солнечного света.

В «Оптических лекциях» Барроу даны формулы линз для разных частных случаев, а в 1693 г. Галлей дал уже общую формулу линзы.

Призматическим цветам посвящено сочинение Марци, вышедшее в 1648 г. Марци считает причиной цветов сгущение света, но высказывает новую мысль, что лучи разной цветности обладают различной преломляемостью. Ложная основная предпосылка явилась препятствием к тому, чтобы Марци опередил Ньютона, хотя Марци высказывал такие ценные мысли, как сохранение цвета однажды преломлённым светом.

Цвета тел привлекли внимание и Бойля, посвятившего этому вопросу трактат «Опыты и рассуждения, касающиеся цветов», вышедший в 1663 г. Бойль, полагает, что цвета тел не относятся к существенным свойствам и обусловлены модификациями света на поверхности освещаемых тел. Тело, наиболее полно отражающее свет, будет белым, поглощающее свет — чёрным. Цвета тел обусловлены количеством отражённых лучей. Наконец, Бойль впервые описывает интерференционные явления в мыльных плёнках и тонких стеклянных парах.



Рис. 102. Микроскоп начала XVI в.

Через два года после выхода сочинения Бойля, в 1665 г., вышли два трактата, с которых можно датировать историю физической оптики. Это «Физико-математические исследования о свете, цветах» Гримальди и «Микрографии» Гука. Иезуит Гримальди (1618—1663) является автором фундаментального открытия дифракции света. Пропуская пучок света через отверстие в ставне и помещая в конус света палку, он наблюдал тень

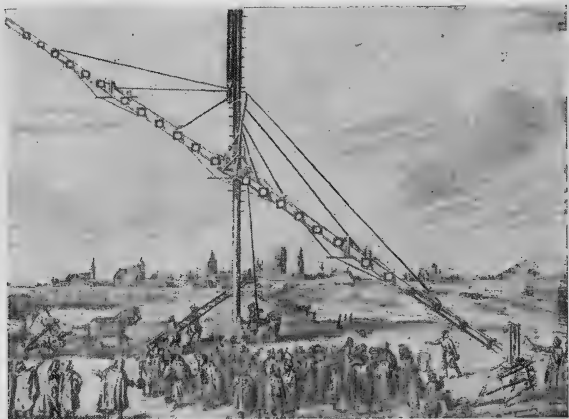


Рис. 103. Астрономическая труба по книге Гевелия.

палки на значительном расстоянии от неё и заметил, что тень палки получается, во-первых, шире, чем должно быть по геометрической оптике, и, во-вторых, окаймлённая цветными полосами. Он назвал это явление дифракцией. Помещая в конце тени пластинку с отверстиями, он наблюдал уширенное изображение отверстия, а помещая пластинку с двумя близкими отверстиями, получил два изображения, перекрывающие друг друга. При этом Гримальди пришёл к важному выводу, что прибавление света к свету может привести к уменьшению освещённости. Гримальди, как и все современники ему учёные иезуиты, не обнаруживает глубокого теоретического мышления, но всё же он, так сказать, предчувствует волновую теорию света, и дифракционные полосы вызывают в его уме образ волн, распространяющихся на воде от брошенного в неё камня.

Наоборот, Гук совершенно определённо высказывается в пользу волновой концепции. Более того, в своём докладе Королевскому обществу в 1672 г. Гук, опередив на 150 лет Френеля, высказывал утверждение, что свет распространяется поперечными волнами. В своей «Микрографии» Гук описывает интерференционные и дифракционные явления. Исследуя цвета тонких пластинок, Гук подмечает зависимость цвета от толщины, но не устанавливает точного закона, и слава открытия периодичности света

выпала на долю Ньютона. Высказав совершенно правильную мысль, что игра цветов на плёнке обусловлена отражением луча от передней и задней поверхностей её, Гук объясняет цвет различными способами столкновения лучей на сетчатке, благодаря чему происходит различная комбинация из двух основных цветов: красного и голубого. Ревниво относясь к своим теориям и открытиям, Гук занял непримиримую позицию в отношении оптических работ Ньютона, оспаривая приоритет почти в каждом его открытии. Полемика приняла настолько острый характер, что Ньютон принял решение не публиковать ничего по оптике, пока жив Гук.

Роберт Гук, сын пастора на острове Уайт, родился в 1635 г., учился в Оксфорде, был ассистентом Бойля, с 1662 г. — экспериментатор Королевского общества, с 1678 г. — секретарь общества. Умер в 1703 г. Кипучий темперамент Гука являлся источником и его разносторонних открытий и его многочисленных столкновений с учёными-современниками. Гук с исключительной остротой чувствовал актуальные проблемы эпохи, и его имя связывается и с законом тяготения, и с часами и с теорией цветов. Но он не доводил до конца, до полного завершения своих идей. Он предчувствовал закон тяготения, но точную форму закона нашёл Ньютон. Он разрабатывал пружинные часы, но сконструированы они были по указаниям Гюйгенса. Он исследовал цвета тонких пластинок, но точный закон нашёл Ньютон. Вечными спорами и притязаниями он заслужил себе славу неуживчивого человека.

Генеральный, но дисциплинированный ум, — таков приговор, вынесенный историей Гуку.

Ньютон завершил эпоху великих открытий в оптике. В период разгара его оптических работ были получены три фундаментальных результата. Приглашённый Гюйгенсом в Парижскую академию астроном Олаф Рёмер, изучая с 1672 г. затмения спутников Юпитера, измерил скорость света. Сообщение об этом появилось в «Трактате о свете» Гюйгенса, вышедшем в 1690 г. В этом же трактате Гюйгенс развивает замечательную теорию распространения волн в исландском шпате и описывает открытое им явление поляризации. Теория Гюйгенса объясняла открытое в 1664 г. Эразмом Бартолинусом двойное преломление. Таким образом, все основные факты волновой оптики — интерференция, дифракция, поляризация — оказались открытыми в XVII в.

Так развивалась доньютоновская физика. Все основные черты классической физики были намечены, основные факты — открыты, методы — установлены. Предстояло сделать последний и важный шаг: обобщить все разрозненные результаты в единую систему и, завершая один из самых блестящих и плодотворных периодов в истории естествознания, заложить фундамент классической физики. Этот шаг был сделан Ньютоном.

НЬЮТОН.

Введение.

«Первый период нового естествознания заканчивается в области неорганического мира — Ньютоном», — говорит Энгельс. И, действительно, на долю Ньютона выпала задача обобщения результатов естествознания XVII в., им завершена грандиозная работа постройкой фундамента новой науки. Великие «Principia» Ньютона представляют собой как бы океан, в который вливались бегущие по многочисленным руслам реки нового знания. Они представляют собой подлинную энциклопедию физико-математических наук, отражая и животрепещущие проблемы и философию этих наук.

Обобщая спорадические результаты своих предшественников в стройную логическую систему ньютоновой механики, Ньютон тем самым явился родоначальником классической теоретической физики. Именно он указал путь, метод этой отрасли естествознания и разработал её программу. «Было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы», — так сформулирована Ньютоном эта программа.

Эта программа имеет свои сильные и слабые стороны. Требование логической непротиворечивости и строгого соответствия фактам, предъявленное Ньютоном к теоретической физике, было здоровой реакцией на беспочвенные домыслы и фантастические построения крайних картезианцев, претендующих на «объяснение мира». Однако в своём дальнейшем развитии в руках неумеренных последователей Ньютона эта программа превратилась в ньютонианство, на знамени которого было написано: изгнать гипотезы из физики. Изгоняя гипотезы из физики, снижая роль теоретического мышления в естествознании, ньютонианцы нанесли немалый ущерб прогрессу физической науки. Достаточно вспомнить о печальной участи оптики в XVIII в., особенно разительной после многообещающего пышного расцвета её в эпоху Ньютона и Гюйгенса. Особенно вредным для развития физики было возникновение на базе ньютонианства школы «чистого описания», в философском отношении примыкающей к Беркли, а впоследствии к Маху. Авторитет Ньютона сыграл безусловно значительную роль в развязывании антинаучных, реакционных тенденций в физике, и этим можно объяснить ту резкую характеристику, которую Энгельс дал однажды Ньютоном.

Позиция Ньютона в великом споре картезианцев и ньютонианцев не отличалась последовательностью. Мы знаем теперь из многочисленных высказываний Ньютона, что сам он неповинен в грехе ньютонианства, но знаем также, что он и не возвысил своего голоса против него. Он не протестовал против него. Он не протестовал против котловской обработки «Начал» в духе ньютонианства. Робкая, уклончивая, колеблющаяся позиция Ньютона — не случайна. Она вытекает из тех исторических условий,

в которых протекала жизнь и деятельность великого учёного. Дух компромисса, выражением которого явилась так называемая «Славная революция» 1688 г., пронизывает деятельность Ньютона. Выяснение историко-биографических условий его работы становится поэтому настоятельной необходимостью.

ЖИЗНЬ НЬЮТОНА.

Историческая обстановка в эпоху Ньютона.

Ньютон жил и творил в знаменательную эпоху в истории Англии, в эпоху, когда складывались основы английского государственного строя, когда шла борьба за Англию как мировую державу. Это был период буржуазной революции в Англии, завершившейся тем компромиссом между буржуазией и дворянством, который известен под названием «Славной революции». Это был период, когда Англия, отстояв при Елизавете свою независимость в борьбе с испанской реакцией, навигационными войнами укрепляла своё колониальное могущество и обеспечивала себе положение мировой державы. Ньютон родился в разгар гражданской войны между сторонниками парламента и роялистскими войсками Карла I. Ему было шесть лет, когда эта война закончилась казнью Стюарта. Его детские и отроческие годы протекают при протекторате Кромвеля. В первый год реставрации он поступает в Кембридж, где проходит его научная деятельность. За время его пребывания в Кембридже страна пережила реставрацию и якобинскую реакцию. После изгнания Иакова II и призвания Вильгельма Оранского (1688 г.) начинается лондонский период жизни Ньютона. Таким образом, деятельность Ньютона приходится на период напряжённой политической жизни Англии. В стране сформировались две основные политические партии дворянства и буржуазии: консерваторы — тори и либералы — виги, которые выкристаллизовались из религиозных группировок гражданской войны. В обстановке сложной политической борьбы, при частой смене руководящих политических деятелей, когда религиозные и философские воззрения тесно переплетались с политическими течениями, формировались воззрения Ньютона. Университеты — и в том числе Кембриджский — не только не стояли в стороне от политической борьбы, а, наоборот, принимали в ней активное участие. И Ньютон был вовлечён в эту борьбу, принимая участие и в оппозиции Иакову II, и в работе парламента в качестве члена его, и, наконец, активно участвуя в финансовой реформе в качестве директора Монетного двора. Ему приходилось соприкасаться с различными политическими и государственными деятелями того времени, быть свидетелем фавора одних и опалы других. Сложность обстановки приучила его к осторожности, к компромиссам, не противоречащим явно его собственным стремлениям и взглядам. Все эти обстоятельства следует иметь в виду при анализе жизни и деятельности великого учёного.

Детские и юношеские годы Ньютона.

В небольшой деревушке Вульстори в Линкольншире (графстве Линкольн) в семье мелкого фермера родился будущий учёный. Среда фермеров и сельских пасторов — вот та социальная среда, в которой протекали детские и отроческие годы Ньютона. Это именно та социальная среда, «средняя прослойка» (имение Ньютона давало около 50 фунтов годового дохода), которая по своему положению была вынуждена занимать неустойчивую, колеблющуюся позицию в сложной и бурной политической обстановке эпохи. Она ничего не могла выиграть в борьбе земельной аристократии и торговой буржуазии, но зато могла потерять всё. За её счёт и совершилась, в конечном итоге, сделка между обеими борющимися группами

в 1688 г., Так, уже по самому своему происхождению Ньютон был обречён на постоянную необходимость лавирования в бурном житейском море, чтобы сохранить и обеспечить своё существование.

Слабый и болезненный ребёнок родился, когда отца уже не было в живых, 5 января (25 декабря по старому стилю) 1643 г., почти через год после смерти Галилея и почти через сто лет после смерти Коперника. За шесть лет до его рождения вышло «Рассуждение о методе» Декарта и готовились «Начала философии». Бэкон умер за шестнадцать лет до его рождения, а Гюйгенс был тринадцатилетним мальчиком.



Ньютон.

Через три года после рождения Исаака мать его вышла замуж вторично за пастора Смита и переехала жить к мужу в Норт-Уитам. Малыш остался на попечении бабушки. Двенадцати лет его определяют в школу в Грэнтэме, где он живёт в семье аптекаря Кларка. Одиноким, предоставленным самому себе, ребёнок, склонный к мечтательности, занимается поэзией и живописью, занимается изобретательством: мастерит бумажные змеи, изобретает ветряную мельницу, водяные часы, педальную повозку-самокат. Он избегает шумного общества сверстников-мальчиков, но охотно дружит с живущей вместе с ним девочкой Стори, моложе его двумя или тремя годами. Эта детская дружба, с годами перепедавшая в более сильное чувство, сохранилась у Ньютона на всю

жизнь. Материальная необеспеченность помешала Ньютону жениться на мисс Стори, и он до конца своей жизни остался холостяком.

Учился Ньютон плохо, а слабое здоровье обрело его на подчинённое положение в среде школьных товарищей. Это положение невыносимо для одинокого, самолюбивого мальчика, и однажды, когда в драке Ньютон был избит так, что потерял сознание, он принял решение покончить с таким положением и выделиться успехами. Упорство, проявленное им в достижении поставленной цели, принесло свои плоды — Ньютон занял первое место в классе и удержал его до оставления школы. Интерес к технике приводит его к размышлениям над явлениями природы. В 1658 г. он проводит первый физический опыт: пытается определить скорость ветра, измеряет длину прыжка по ветру и против ветра. В то же время он конструирует солнечные часы.

К тому времени его мать овдовела и вернулась в Вульсторп. Решив заняться делами имения, она взяла себе для помощи Исаака, но Ньютон оказался плохим помощником и предпочитал больше заниматься изучением математики, чем сельским хозяйством. «Один из его дядей, найдя его однажды под изгородью с книгой в руках, погружённого в глубокое размышление, взял у него книгу и нашёл, что он был занят решением математической задачи. Поражённый таким серьёзным и деятельным направлением ещё столь молодого человека, он уговорил его мать не противиться далее желанию сына и послать его обратно в Грэнтэм для продолжения занятий» (Био). Ньютон возвращается обратно и готовится к поступлению в Кембридж.

Кембридж.

Университеты в то время играли выдающуюся роль в политической жизни. При Иакове I Стюарте Оксфордскому и Кембриджскому университетам было предоставлено право посылать депутатов в парламент, им же предоставлялось право назначения на церковные должности. Стюарты покровительствовали университетам, стремясь найти в них поддержку своим абсолютистским



Рис. 104. Дом, в котором родился Ньютон.

стремлениям. В годы гражданской войны университеты, особенно Оксфордский, занимают роялистскую позицию. Но в эти и последующие годы политическая жизнь тесно переплеталась с религиозными воззрениями. «Самым выдающимся фактом этого периода была близкая связь религии с политикой», — говорит один из английских историков Гассаль. Если в начале царствования Иакова I для университетов было характерно увлечение кальвинизмом, то чем дальше, тем больше они становились оплотом антикальвинистской реакции.

При происшедшем затем политическом размежевании борющихся групп (партия земельной аристократии — торы, партия торговой буржуазии — виги) Оксфордский университет был оплотом первой партии, Кембриджский — второй. Но политические симпатии университетов менялись с изменением политической обстановки в стране, и в Кембридже имели место якобитские «папистские» выступления, более приличествующие группировке торы.

Ньютон поступил в Кембридж в 1660 г. в качестве Subsizar'а (так назывались неимущие студенты, в обязанности которых входило прислуживание членам колледжа), т. е. он попадает с самого начала в тяготившее его униженное подчинённое положение. Горечь житейского существования смягчается напряжённой учебной работой: Ньютон изучает работы Декарта и Валлиса, «Логик» Саундерсона, «Оптику» Кеплера, слушает

лекции по оптике Исаака Барроу¹. Напряжённая работа мысли дала свои результаты: Ньютон в течение семи лет (с 1660 по 1667) проходит все степени колледжа и подготавливает все свои великие открытия.

В 1665 г. Ньютон — магистр искусств, а в 1669 он получает Люкасовскую кафедру математики, которую до того занимал Барроу, уступивший кафедру своему одарённому ученику. В это время Ньютон был уже автором бинома и метода флюксий, исследовал дисперсию света, сконструировал первый зеркальный телескоп, подошёл к открытию закона тяготения. Все



Рис. 105. Внутренность школы, где учился Ньютон.

эти годы Ньютон провёл в Кембридже и только во время чумы в 1665 г. покидает Кембридж, уехав в Вульсторп, откуда вернулся только осенью 1668 г. К этому периоду относится известный анекдот о падающем яблоке, наведшем Ньютона на мысль о тяготении.

Педагогическая нагрузка Ньютона состояла из одного часа лекций в неделю и из четырёх часов репетиций. Как преподаватель Ньютон не пользовался популярностью, и его лекции по оптике посещались плохо.

Сконструированный им в 1671 г. рефлектор (второй улучшенный) послужил поводом для представления Ньютона в члены Лондонского Королевского общества. Ньютон представил рефлектор 11 января 1672 г. и был избран членом Общества. Однако он отказался от членства, ссылаясь на отсутствие денежных средств для уплаты членских взносов. Совет Общества счёл возможным сделать исключение для Ньютона ввиду его научных заслуг и освободил его от этой уплаты.

Обстановка в стране и Кембридже в это была очень напряжённой. В 1679 г. неким священником Отсом был распушен слух о «шайстском

¹ Барроу — математик и богослов, сын лондонского торговца тканями, родился в 1630 г., умер в 1677 г. Как роялист, пользовался особым расположением короля Карла II.

заговоре», начались полавные обыски и аресты. Атмосфера политической подозрительности породила банду лжесвидетелей и доносчиков. Богословские и философские споры становились небезопасными.

Обстановка дошла до крайней степени напряженности, когда в год смерти Карла II (1685) герцог Монмут поднял восстание, которое вскоре было подавлено. Началась полоса подавления «вигских заговорщиков» и якобитской католической реакции.

Ньютон, несмотря на свою осторожность и крайнюю нелюбовь к общественным выступлениям, всё же держался твердой антикатолической, антиабсолютистской ориентации. Он защищал позицию поднимающейся



Рис. 106—107. Телескоп-рефлектор Ньютона.

буржуазии, противопоставившей притязаниям королевской власти формулу: «закон выше короля». В 1687 году в год выхода его «Начал» Ньютоп принял активное участие в отпоре незаконным притязаниям короля Якова II. Король потребовал от Кембриджского университета предоставить должность католику Фрэнсису Робкий канцлер университета хотел было вопреки закону, запрещающему принимать на службу католиков, удовлетворить желание короля. Ньютоп, участвовавший в обсуждении щекотливого вопроса, решительно протестовал и решено было направить депутацию к председателю «Церковной комиссии», известному «кровавому судье» Джеффрису. В числе депутатов был и Ньютоп. Несмотря на грубые окрики Джеффриса и последовавшую отставку канцлера университета, мнение сторонников закона восторжествовало и Фрэнсис не получил должности. Несомненно, что твердая позиция Ньютона, считавшего, что если король поступает против закона, то повиноваться его приказам не обязательно, сыграла здесь свою роль.

Болезнь
Ньютона.

В 1688 г. Иаков II был изгнан и призван Вильгельм Оранский. Совершилась «Славная революция». Был избран парламент, в числе депутатов которого был и Ньютоп. Парламент собрался в напряженной политической обстановке. Якобиты организовали восстание в Ирландии, фракция вела войну и поддерживала Якова; в стране была распатапа денежная система. Ньютоп оказался в центре крупных политических событий и, надо думать, что он не оставался безучастным к этим событиям. Сохранившаяся переписка с канцлером Кембриджа свидетельствует, что он ревностно защищал интересы университета в новой политической обстановке. В Лондоне Ньютоп

сблизился с влиятельными деятелями партии вигов: Монтэгию, Сомерсетом и другими. В это же время он добивался должности в Ловдоне. Но напряженная политическая обстановка, переутомление после колоссальной работы по подготовке «Начал», неблагоприятно отразились на здоровье Ньютона и в 1692 г. он заболел первым расстройством.

Де ля Прим записывает в дневнике 3 февраля 1692 г.: «Сегодня я слышал следующее. Здесь есть некто Ньютон, член коллегии Св. Троицы, которого я часто видел и который весьма знаменит своей учёностью. Это отличный математик, естествоиспытатель, богослов и т. д. и уже несколько лет состоит членом Королевского общества. В числе других учёных книг и трудов прежде всего надо упомянуть его «Математические начала натуральной философии», благодаря которым он особенно прославился и получил множество благожелательных писем, особенно из Шотландии. Вот уже двадцать лет, как он усердно трудится над светом и объяснением цвета тел, для чего им сделано более тысячи опытов и истрачено несколько сот фунтов стерлингов. К этой книге он подготовил добавление, но внезапно все его труды пропали. Все они сполна сгорели на его письменном столе в то время, как он был в капелле, вследствие того, что он, уходя, забыл погасить свечу. Это так поразило его, что все думали, что он совсем рехнулся, и несколько месяцев он был совсем не в своём уме».

Таким образом де ля Прим считает причиной душевного расстройства пожар, уничтоживший значительную часть оптических рукописей Ньютона. Приведём ещё свидетельство Гюйгенса (22 мая 1694 г.):

«Шотландец д-р Кольм сообщил мне, что знаменитый геометр Ис. Ньютон полтора года тому назад впал в умопомешательство, частью от чрезмерных трудов, частью же вследствие горести, причинённой ему пожаром, истребившим его химическую лабораторию и многие важные рукописи. Г. Кольм прибавляет, что вследствие этого происшествия Ньютон представлялся Кентерберийскому архиепископу, причём в разговорах обнаружилось его умственное расстройство. Тогда друзья взяли его для лечения и, заключив в комнату, заставили принимать волею или неволею лекарства, от которых здоровье его поправилось настолько, что теперь он начинает уже понимать свою книгу «Начала».

Каковы бы ни были причины заболевания Ньютона, болезнь прошла без особых последствий и Ньютону скоро пришлось оказать своей родине огромную услугу на общественном поприще.

Лондонский
период

Одной из важнейших задач «Славной революции» было оздоровление политической и экономической обстановки в стране. В этой последней части особенно важно было оздоровить финансы. В стране ходило большое количество неполноценной монеты, выпускаемые монеты обрезались и обращались с уменьшенным весом. Такое положение тяжело отражалось на торговле и кредите. Необходимо было наладить выпуск стандартной доброкачественной монеты и взять неполноценную. Король назначил на должность лорда канцлера казначейства покровителя Ньютона, лорда Монтэгию. Монтэгию решил воспользоваться услугами Ньютона в этом важном мероприятии и привлечь его к работе негласной комиссии по проведению денежной реформы. В этой комиссии кроме двух государственных деятелей (Монтэгию, и Сомерсета) участвовали два представителя науки: философ Локк и Ньютон. Комиссия разработала тщательно продуманный проект реформы. При проведении реформы Ньютону было предложено место смотрителя Монетного двора, дававшее ему 400—500 фунтов в год, с сохранением профессуры в Кембридже. Ньютон решительно взялся за новые обязанности. Под его руководством в два года была перечеканена вся монета Англии. В 1699 г. он был

назначен директором Монетного двора, что давало ему от 12 до 15 тысяч фунтов годового дохода. Теперь профессура уже не могла быть совмещена с новыми обязанностями. Ньютон оставляет кафедру в пользу Витстона и переезжает на постоянное жительство в Лондон. Здесь в 1703 г. он избирается президентом Королевского общества.

Научная деятельность Ньютона в лондонский период его жизни ограничилась изданием в 1704 г. «Оптики», работой по переизданию «Начал» и некоторыми математическими трудами.

К этому времени Ньютон достигает вершины славы и признания. В 1705 г. королева Анна возводит его в рыцарское достоинство, он занимает богатую квартиру, держит шесть слуг, имеет карету для выездов. Живёт он попрежнему одиноко, хозяйством заведует его племянница Екатерина Бартон.

На восьмидесятом году Ньютон начал страдать каменной болезнью, от которой умер в ночь с 20 на 21 марта 1727 г. восьмидесяти четырёх лет от роду. Похороны его состоялись в Лондоне с большой пышностью. По указу короля Георга I его похоронили в Вестминистерском аббатстве. В похоронной процессии приняли участие герцоги Роксбург и Монтроз, три пэра Англии и графы Пемброк, Суссекс и Макклесфильд — все члены Королевского общества. Так в конце своей жизни Ньютон получил то признание и независимость, которых так не хватало ему в долгой подчинённой и необеспеченной жизни. В трудных условиях житейской борьбы и сложной политической обстановке сложился характер Ньютона, в котором сочетались упорство и робость, постоянство и нерешительность, осторожность и хитрость. В эту Жестокую эпоху великому мыслителю было трудно сохранить независимость мышления и убеждений, а громадный авторитет автора «Начал» нередко использовался в антинаучных и реакционных целях.

Но врагам науки не удалось сломить Ньютона до конца, и Ньютон, вопреки всем житейским бурям и невзгодам, выполнил своё великое дело. Невольно напрашивается сопоставление судеб двух величайших деятелей новой науки — Галилея и Ньютона. И тому и другому пришлось творить в сложной обстановке мучительного процесса возникновения новых общественных отношений, когда научная деятельность принимала неизбежно боевой характер политического выступления. И тот и другой мыслитель видели свою задачу в том, чтобы довести до конца задуманные начинания, подчинив этой великой цели всё остальное. Осторожность и расчёт, изворотливость и приспособляемость к «сильным мира сего» помогали им в выполнении великой миссии. Но гений Галилея развёртывался медленно, великие замыслы его созрели только к концу его жизни. Когда оказалось недостаточно компромисса 1616 г., ценой которого Галилею удалось добиться выхода в свет «Диалога», он пошёл на формальное отречение от своих убеждений и на закате жизни опубликовал свои труды по основам новой механики.

Замыслы Ньютона созрели в юношеские годы, и к сорока пяти годам он уже был автором «Начал», поэтому его компромиссы не имели характера жертвы науке, как у Галилея. Закат жизни Галилея прошёл под неусыпным надзором инквизиции, в атмосфере материальных и моральных лишений. Ньютон умирал при широком общественном признании его научных заслуг. Но и тот и другой умирали в полном сознании значительности совершённого ими подвига, искупившего все моральные жертвы, и каждый мог с полным правом сказать с гордостью на своём смертном одре: «Сделал, что мог, пусть другие сделают лучше» (*Feci quod potui, faciant meliora potentes*).

ТРУДЫ НЬЮТОНА И ЕГО ФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗЗРЕНИЯ.

А. ОСНОВНЫЕ ОТКРЫТИЯ НЬЮТОНА.

Научная деятельность Ньютона началась под непосредственным влиянием его учителя Барроу и тех трудов, которые он ревностно изучал в Кембридже. Это были «Геометрия» Декарта, «Оптика» Кеплера, «Арифметика бесконечного» Валлиса. Сам Барроу занимался оптическими задачами и изысканиями способов проведения касательных к кривым. Первые шаги Ньютона и характеризуются разработкой оптики и математических задач. Математические исследования Ньютона завершаются открытием метода флюксий (1665—1666).

Открытие дифференциального и интегрального исчисления было теснейшим образом связано с развитием новой механики, и обусловлено потребностью выработать надёжный и удобный метод решения механических задач. Как правильно отмечает историк математики Цейтен, дело было не только в том, «что многие весьма важные инфинитезимальные исследования... возникли под давлением запросов, предъявлявшихся к математике механикой», а и в том, «что само представление об одновременном изменении величин, из которых одна все время является, по современной терминологии, функцией другой, тесно связано с представлением о движении». Уже Декарт ввёл в математику переменную величину, образы переменных непрерывных величин владеют Галилеем и Кеплером. Поскольку понятие о числовой непрерывности ещё не было выработано, математики пользовались геометрическим приёмом, представляя величину отрезком (это и есть идея аналитической геометрии Декарта). Галилей рассматривал путь, как интеграл скорости, но называл это, конечно, иначе: «сумма параллельных дивий (отрезков скорости)». То же самое мы находим у Кеплера. Таким образом с помощью геометрии пытаются обойти трудности, связанные с введением в математику переменной непрерывной величины. Ньютон же прямо апеллирует к механике:

«Я рассматриваю здесь математические количества не как состоящие из очень малых постоянных частей, а как производимые непрерывным движением¹. Линии описываются и по мере описания образуются не приложением частей, а непрерывным движением точек, поверхности — движением линий, объёмы — движением поверхностей, углы — вращением сторон, времена — непрерывным течением и т. д.

Такое происхождение имеет место и на самом деле в природе вещей и наблюдается ежедневно при движении тел. Подобным образом древние объясняли происхождение прямоугольников, ведя подвижные прямые линии по неподвижным.

Замечая, что нарастающие количества, образующиеся по мере нарастания в равные времена, сообразно большей или меньшей скорости их нарастания, оказываются большими или меньшими, я изыскивал способы определения самих количеств по той скорости движения или нарастания, с которой они образуются.

«Назвав скорости этих движений или нарастаний флюксиями, образуемые же количества флюентами, я постепенно пришёл около 1665 и 1666 гг. к методу флюксий, который я прилагаю здесь к квадратуре кривых».

Так возникло у Ньютона его исчисление флюксий. Сущность его поясняется им следующим образом:

Флюксии приблизительно пропорциональны приращениям флюент, образующимся в равные весьма малые промежутки времени, или, точнее говоря, находятся в предельном отношении зарождающихся приращений и могут быть представлены какими угодно линиями, этим приращениям пропорциональными. Так, если площади ABC , $ABDG$ (рис. 108) описываются ординатами BC и BD , движущимися равномерно

¹ Курсив всюду мой. — П. К. Непрерывно текущая переменная величина и есть флюента Ньютона. Ньютон отчётливо устанавливает связь своего математического метода с изучением движения.

по основанию AB , то флюксии этих площадей относятся друг к другу как описывающие ординаты BC и BD , и могут быть представлены этими ординатами, ибо зарождающиеся приращения площадей пропорциональны этим ординатам.

Пусть ордината BC из своего положения BC перешла в какое-нибудь положение bc . Дополнив параллелограмм $BCEb$, проводим прямую VTH , касающуюся кривой в точке C и пересекающую продолжение BA и bc в V и T ; тогда приращения абсциссы AB , ординаты BC и длины дуги кривой AC , при этом образовавшиеся, суть Bb , Ee , Cc ; стороны треугольника ECT находятся в предельном (первом) отношении этих зарождающихся приращений, следовательно, флюксии самих AB , BC и AC пропорциональны сторонам CE , ET и TC треугольника ECT , которыми они и могут быть представлены, или, что то же самое, — сторонами треугольника VBC , ему подобного.

То же самое получится, если принять флюксии в предельном (последнем) отношении исчезающих частей. Проведём прямую Cc и продолжим её до R ; когда ордината bc будет возвращаться к своему первоначальному положению BC и когда точки c и C сольются, то прямая CR совпадёт с касательной CH , и исчезающий треугольник CEc в предельном (последнем) своём виде станет подобным треугольнику CET , и его исчезающие стороны будут в пределе относиться друг к другу, как стороны CE , ET , TC треугольника CET , следовательно, в том же отношении находятся и флюксии линий AB , BC и AC . Если же точки C и c находятся в каком-нибудь малом удалении друг от друга, то и прямая CR будет находиться в некотором небольшом удалении от касательной. Чтобы прямая CR совпала с касательной CH и чтобы получились предельные (последние) отношения линий CE , Ee и cC , точки C и c должны сойтись

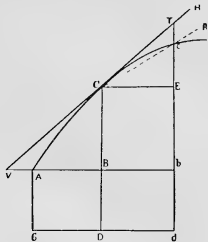


Рис. 108.

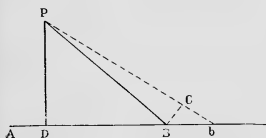


Рис. 109.

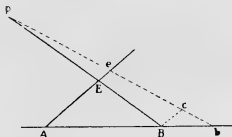


Рис. 110.

и совпасть — вполне. В математических вопросах нельзя пренебрегать даже самыми малыми погрешностями.

На основании подобного же рассуждения, если равномерно продвигать круг, описанный из точки B , как центра, радиусом BC , так чтобы он оставался перпендикулярным к AB , то флюксия образуемого объёма ABC будет пропорциональна площади производящего круга, и флюксия образуемой поверхности пропорциональна окружности производящего круга и флюксии длины дуги кривой AC (т. е. их произведению). Ибо в то время как объём образуется, ведя круг по абсциссе AB , сказанная поверхность образуется, ведя окружность этого круга по длине кривой AC .

Вот ещё три примера этого способа:

1. Прямая PB вращается около заданного полюса P и пересекает другую заданную по положению прямую AB ; требуется: найти отношения флюксий прямых AB и PB .

Пусть прямая PB (рис. 109) перешла из своего положения PB в новое положение Pb . Отложив по Pb длину равную PB , проводим к AB прямую PD под таким углом bPD , который равен углу bBC . По подобии треугольников bBC и bPD приращение Bb так относится к приращению Cb , как Pb относится к Db . Когда прямая Pb будет возвращена в своё первоначальное положение, чтобы приращения исчезли, то предельное (последнее) отношение приращений, или, что то же, предельное отношение Pb к Db обратится в отношение PB к BD , причём угол PDB станет прямым, следовательно, и флюксия AB будет относиться к флюксии PB , как PB к DB .

II. Прямая PB , вращающаяся около заданного полюса P , пересекает две другие прямые AB и AE , заданные по положению в точках B и E ; требуется найти отношение флюксий этих прямых.

Когда вращающаяся прямая PB (рис. 110) переместится из своего положения PB в положение Pb , пересекающее заданные прямые AB и AE в точках b и e , то, проведя прямую Bc , параллельную AE и пересекающую Pb в c , получим:

$$Bb : Bc = Ab : Ae,$$

$$Bc : Ee = PB : PE.$$

Из этих пропорций следует:

$$Bb : Ee = Ab \cdot PB : Ae \cdot PE.$$

Когда прямая Pb возвратится в первоначальное своё положение PB , то исчезающее приращение Bb так будет относиться к исчезающему приращению Ee , как $AB \cdot PB$ относится к $AE \cdot PE$, следовательно, в этом же отношении будет находиться и флюксия прямой AB к флюксии прямой AE .

Поэтому, если вращающаяся прямая PB пересекает какие-либо заданные по положению кривые в точке B и E и ставшие теперь подвижными прямые AB и AE касаются этих кривых в точках пересечения B и E , то флюксия длины дуги, кривой, касающейся прямой AB , будет так относиться к флюксии длины дуги кривой, касающейся прямой AE , как $AB \cdot PB$ относится к $AE \cdot PE$. То же самое получится даже и в том случае, когда прямая PB будет постоянно касаться до какой-либо заданной по положению кривой в подвижной точке P .

III. Количество x течёт равномерно, надо найти флюксию количества x^n .

В то время как количество x при своём течении обратится в $x + h$, количество x^n обратится в $(x + h)^n$, т. е. по нашему способу разложения в бесконечные ряды обратится в

$$x^n + nhx^{n-1} + \frac{n^2-n}{2} h^2x^{n-2} + \dots$$

$$\text{приращения } h \text{ и } nhx^{n-1} + \frac{n^2-n}{2} h^2x^{n-2} \dots$$

$$\text{относятся друг к другу, как } 1 \text{ к } nx^{n-1} + \frac{n^2-n}{2} hx^{n-2} + \dots$$

Когда эти приращения исчезнут, то их предельное отношение будет равно отношению 1 к nx^{n-1} поэтому флюксия x так относится к флюксии x^n , как 1 к nx^{n-1} .

Рассуждая подобным же образом и пользуясь способом предельных первых и последних отношений, можно составить флюксии прямых или кривых линий в любых случаях, а также и флюксии поверхностей, углов и других количеств. Вместе с тем такое установление этого анализа над количествами конечными и исследование предельных первых и последних отношений, зарождающихся или исчезающих конечных величин, согласно с геометрией древних, и я хотел показать, что в методе флюксий нет надобности вводить в геометрию бесконечно малые фигуры.

Анализ может вестись над какими угодно фигурами, конечными или бесконечно малыми, которые предполагаются подобным исчезающим фигурам, а также и над фигурами, которые в способе неделимых принимаются за бесконечно малые; надо лишь поступать с должною осмотрительностью.

Нахождение флюксий по их флюксиям — задача более трудная, и первая ступень в её решении равносильна квадратуре кривых, о которой мною уже давно написано следующее сочинение¹.

Из приведённого отрывка видно, насколько владели Ньютоном образы непрерывного движения при создании им математического анализа. Равномерно текущая независимая переменная у него, как правило, — время. Флюксы — это переменные величины (например путь), меняющиеся в зависимости от времени. Флюксии — скорости изменения этих величин.

Техника интегрирования у Ньютона основана на развёртывании выражений в бесконечные ряды по аналогии с разложением обыкновенных

¹ Выдержки из Ньютона в тексте приводятся по переводу академика А. Н. Крылова. «Математические начала натуральной философии». Сочинения А. Н. Крылова, т. VII, и академика С. И. Вавилова «Оптика», Гиз, 1927.

дробей в десятичные. Последнее стало известным в XVII в., а сам Ньютон называет его «недавно открытым». Поэтому у Ньютона исходной формулой интегрирования является формула интегрирования степени. Он обобщает эту формулу на случай дробного рационального показателя.

Ньютон в первых двух изданиях «Начал» сообщает об этом обмене письмами с Лейбницем: «В письмах, которыми около десяти лет тому назад я обменивался с весьма искусным математиком Лейбницем, я ему сообщал, что я обладаю методом для определения максимумов и минимумов, проведения касательных и решения тому подобных вопросов, одинаково приложимого как для членов рациональных, так и для иррациональных, причём я её сообщил, переставив буквы следующего предложения: *data aequatione quotcunque fluentes quantitates involventa fluxiones invenire et vice versa* (когда задано уравнение, содержащее любое число переменных количеств, найти флюксии, и наоборот). Знаменитый муж отвечал мне, что он также напал на такую методу, и сообщил мне свою методу, которая оказалась едва отличающейся от моей, и то только терминами и начертанием формул». Отсюда видно, насколько была подготовлена почва для создания новых математических методов.

Независимо от Ньютона к открытию дифференциального и интегрального исчисления пришёл знаменитый немецкий философ Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646—1716). В первых двух изданиях «Начал» Ньютон сообщал о том, как произошла взаимная информация учёных о найденном им методе:

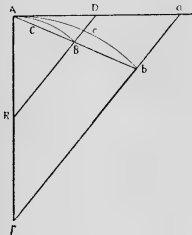


Рис. 112.

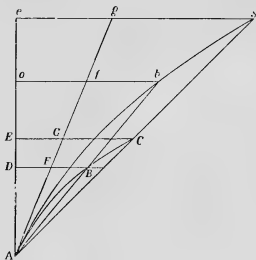


Рис. 113.

Начертание формул у Ньютона заключалось в том, что он обозначал флюенты буквами x, y , а флюксии, т. е. производные, теми же буквами, с точками над ними ($\dot{x}, \dot{y}$). В символике Лейбница после ряда неудачных обозначений (*отп* x затем $\int x$) были выработанные современные обозначения дифференциалов и интегралов. Математика ответила на запросы практика созданием мощного метода расчёта, хотя смысл новых понятий уяснен был далеко не сразу и логические трудности, связанные с их введением, не были преодолены.

Именно в силу этого последнего (бстоятельства Ньютон в своём основном труде («Математические начала натуральной философии») избегает аналитического метода и прибегает к геометрическим доказательствам, широко используя метод пределов. Вся первая книга «Начал» и посвящена изложению этого метода. Ньютон опирается на лемму, утверждающую равенство пределов двух переменных величин, разность между которыми становится в процессе изменения бесконечно малой. Отсюда он заключает, что пределы сумм площадей, вписанных в криволинейную фигуру *AcE* (рис. 111) прямоугольников и описанных около той же фигуры прямоугольников, совпадают и равны площади этой фигуры. Точно так же из равенства пределов отношений площадей, вписанных в две фигуры прямоугольников, вытекает что сами площади этих фигур находятся в том же предельном отношении. Отсюда вытекает пропорциональность площадей этих фигур квадратами сторон.

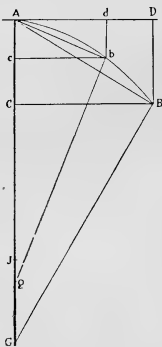


Рис. 114.

Далее Ньютон показывает, что предельное отношение дуги, хорды и касательной к кривой с непрерывно меняющейся кривизной равно единице. Единице равно и предельное отношение площадей треугольников *RAB* и *RAD* (рис. 112). Наконец, Ньютон доказывает чрезвычайно существенную для механических приложений лемму IX.

Лемма IX.

*«Если заданные по положению прямая *AE* и кривая *ABC* пересекаются под данным углом *A* и от прямой *AE* проводятся внутри этого угла ординаты *BD*, *CE*, пересекающие кривую в точках *B* и *C*, и точки *B* и *C* совместимо приближаются к *A*, то я утверждаю, что площади треугольников *ABD* и *ACE* будут в пределе относиться друг к другу, как квадраты сторон» (рис. 113).*

Опираясь на эту лемму о девиации, Ньютон доказывает, что пути, проходимые телом под действием силы за бесконечно малые промежутки времени, пропорциональны квадратам времён. Следовательно, и девиации (отклонения), вызванные действием сил за малые промежутки времени, пропорциональны квадратам времён. Последняя лемма, лемма XI этого раздела «Начал», утверждает:

«Расстояние от конца дуги до касательной, проведённой в её начале, при бесконечном уменьшении дуги для всех кривых, коих кривизна в точке касания конечная, пропорционально в пределе квадрату её хорды» (рис. 114).

$$\frac{AB^2}{Ab^2} = \frac{BD}{bd}.$$

Излагая эти теоремы о пределах, Ньютон стремится избежать громоздкости геометрических доказательств от противного и грубости столь употребительного у его предшественников метода неделимых. Он говорит в «Поучении» к первой книге «Начал» следующее:

«Способом пределов достигается то же, что и способом неделимых, и после того как его основания доказаны, мы можем им пользоваться с ещё большею уверенностью. Поэтому, если во всем последующем изложении я и рассматриваю какие-либо величины как бы состоящими из постоянных

частиц или если я принимаю за прямые линии весьма малые части кривых то следует разуметь, что это не неделимое, а исчезающие делимые величины, что это не суммы и не отношения определённых конечных частей, а пределы сумм и пределы отношений исчезающих величин, и сущность этих доказательств в том и состоит, чтобы всё приводить к предыдущим леммам».

Введение в математику переменных величин посредством операций с их пределами считалось несовместимым с требованиями строгого геометрического доказательства. Ньютон стремится обосновать законность метода пределов апелляциями к механическому опыту:

«Делают возражение, что для исчезающих количеств не существует предельного отношения, ибо то отношение, которое они имеют ранее исчезая, не есть предельное, после же исчезания нет никакого отношения. Но при таком и столь же натянутом рассуждении окажется, что у тела, достигающего какого-либо места, где движение прекращается, не может быть «предельной» скорости, ибо та скорость, которую тело имело ранее, нежели оно достигло этого места, не есть «предельная», когда же достигло, то нет скорости. Ответ простой: под «предельной» скоростью надо разуметь ту, с которой тело движется не перед тем как достигнуть крайнего места, где движение прекращается, и не после того, а когда достигает, т. е. именно ту скорость, следя за которой тело достигает крайнего места, где движение прекращается. Подобно этому под предельным отношением исчезающих количеств должно быть разумемо отношение количеств не перед тем, как они исчезают, и не после того, но при котором исчезают. Точно так же в предельное отношение зарождающихся количеств есть именно то, с которым они зарождаются. Предельная сумма зарождающихся или исчезающих количеств есть та составленная из них сумма, когда они, увеличиваясь или уменьшаясь, только начинают или прекращают быть. Существует такой предел, которого скорость в конце движения может достигнуть, но не может превзойти, это и есть предельная скорость. Такова же причина существования предела отношения зарождающихся или исчезающих количеств. Когда такой предел существует и величина его вполне определённая, то его нахождение есть задача истинно геометрическая. Всё же геометрическое может быть законным образом применяемо при геометрических изысканиях и доказательствах».

Механическая практика властно требовала внедрения новых математических методов, не считаясь с трудностями их логического обоснования. Компромиссный метод предельных отношений Ньютона оказался трудным и громоздким, и последующие механики, в первую очередь Эйлер, стремились всё более и более прибегать к анализу, пока Лагранж не заявил с гордостью, что в его «Аналитической механике» нет ни одного чертежа. Так эволюционировал за сто лет математический аппарат механики. Задача же логического обоснования анализа была отодвинута до Дедекинда и Кантора.

Оптические
исследования
Ньютона.

Оптические изыскания Ньютона начались с поисков способов устранения недостатков оптических приборов и в скором времени привели его к знаменитым исследованиям дисперсии света.

«В начале 1666 г. ... я достал треугольную стеклянную призму, чтобы с нею произвести опыты над знаменитым явлением цветов», — говорит Ньютон в мемуаре «Новая теория света и цветов». Обнаружив, что изображение отверстия в ставне по выходе из призмы становится удлинённым и окрашенным (спектром) (рис. 115), Ньютон обратил особое внимание на то, что длина спектра оказалась примерно в 5 раз больше его ширины. «Диспропорция была так необычайна, что возбудила во мне более чем простое любопытство узнать, отчего это происходит. Едва ли можно было ду-

мать, что различная толщина стекла или граница с тенью или темнотою производят на свет такое влияние». Ньютон, справедливо сомневаясь в правильности воззрений Аристотеля и Доминиса, предпринимает целую серию опытов, в результате которых приходит к выводу, что солнечный свет представляет смесь различных лучей, отличающихся друг от друга по пре-

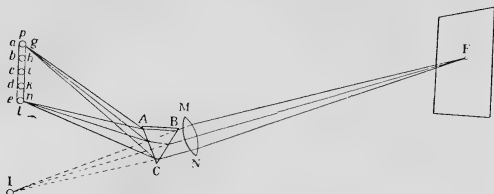


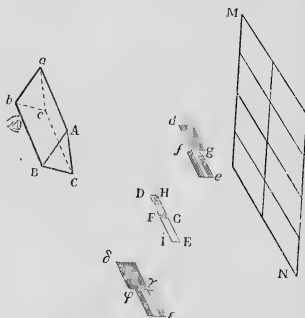
Рис. 110. Рисунок из «Оптики» Ньютона.

«Пояснение. На фигуре 24¹ F представляет круглое отверстие в оконной ставне, MN — линзу, отбрасывающую отчётливое изображение отверстия на бумагу в I. ABC — призма, посредством которой лучи, выходящие из линзы, преломляются, и круглое изображение в I превращается в удлиненное изображение pI, падающее на другую бумагу. Это изображение pI состоит из кругов, расположенных один за другим в прямом порядке...; эти круги равны кругу I и, следовательно, соответствуют по величине отверстию F; уменьшая отверстие, можно, следовательно, по желанию уменьшать эти круги, оставляя их центры на прежних местах. Таким способом я получил ширину изображения в сорок, а иногда в шестьдесят и семьдесят раз меньшую, чем длину».

ломляющей способности. Эта разница в преломляющей способности связана с различной цветностью лучей. Так, рассматривая бумагу, одна половина которой окрашена в красный, а другая в синий цвет, через призму, он нашёл, что обе половины бумаги кажутся смещёнными, одна более приподнята, чем другая (рис. 116). Красный цвет оказывается менее преломляемым, чем синий. Точно так же, если обмотать обе окрашенные половины

Рис. 116. Рисунок из «Оптики» Ньютона.

«Пояснение. На фигуре 11 MN изображает окно, DE — бумагу с параллельными сторонами DI и HE, разделённую поперечной линией FG на две половины: интенсивно синюю GD и другую, интенсивно красную FE. BACab — призма, преломляющая плоскости которой ABa и ACa встречаются по ребру преломляющего угла Aa. Это ребро Aa, поднятое вверх, параллельно одновременно горизонту и параллельным сторонам бумаги DI и HE; поперечная линия FG перпендикулярна к плоскости окна. Далее, de представляет изображение, видимое при преломлении вверх таким образом, что синяя половина DG поднимается выше в положение dg, красная половина EF находится в ef; синяя часть преломляется, следовательно, больше преломление. Если ребро преломляющего угла повернуто вниз, то изображение бумаги преломлением опускается, положим, в de, синяя половина преломляется при этом в du ниже, чем красная половина, находящаяся в положении eφ».



чёрной ниткой, то, получая с помощью линзы изображения этих ниток, можно видеть, что места отчетливых изображений красной и синей половины не совпадают (рис. 117).

¹ Цитирование по «Оптике» Ньютона, Гиз, 1927.

Открыв зависимость показателя преломления от цветности, Ньютон объяснил тем самым и дисперсию света в призме. Он демонстрирует дисперсию света и на основном опыте получения призматического спектра (опыт 3 «Оптики»), и на замечательном опыте со скрещёнными призмами (рис. 118, опыт 5 «Оптики») ¹. Он производит *experimentum crucis* (опыт

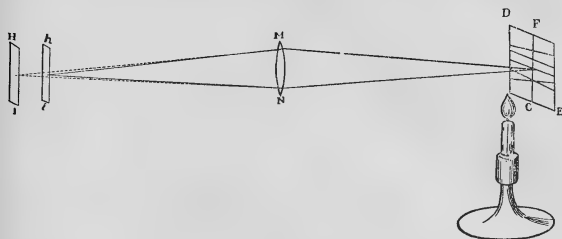


Рис. 117. Рисунок из «Оптики» Ньютона.

«Пояснение. На фигуре 12 DE изображает окрашенную бумагу, DC — синюю половину, FE — красную половину, MN — линзу, HI — белую бумагу в том месте, где красная половина с её чёрными линиями кажется отчётливой, hi — ту же бумагу в том месте, где отчётливой кажется синяя половина. Положение hi было ближе к линзе MN, чем положение HI, на полтора дюйма».

6 «Оптики») с целью проверки гипотезы, что дисперсия обусловлена различной преломляемостью лучей.

В результате своих исследований Ньютон приходит к фундаментальному выводу: «Таким образом была открыта истинная причина длины изображения, которая заключается в том, что свет состоит из лучей различной преломляемости».

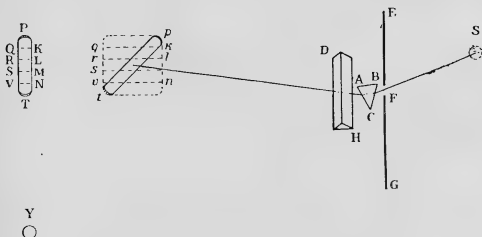


Рис. 118. Рисунок из «Оптики» Ньютона.

«Пояснение. Пусть S (фиг. 14) представляет Солнце, F — отверстие в окне, ABC — первую призму, DE — вторую призму, Y — круглое изображение Солнца, образуемое непосредственно пучком света, когда призмы убраны, PT — удлиненное изображение Солнца, образуемое тем же пучком при прохождении только через первую призму, когда вторая призма убрана, pt — изображение, получаемое при перекрестных преломлениях обеих призм вместе».

¹ Метод скрещённых призм Ньютона получил большое значение для исследования аномальной дисперсии (Кундт и, особенно, Вуд, а также классический «метод крюков» Рождественского, в котором идея Ньютона развивается дальше — скрещивание интерферометра и спектроסקопа).

Ньютон ставит далее задачу выделения монохроматического луча с целью исследования его свойств, осуществляя первый монохроматор (рис. 119). Он устанавливает, что разрешающая способность спектроскопа повышается как от увеличения преломляющего угла призмы, так и от уменьшения размеров источника света (щель). Комментируя в своём переводе «Оптики» описание спектральной установки Ньютона, акад. Вавилов указывает, что в этой установке осуществлены принципы коллиматорного устройства, применяемого до сих пор в спектроскопии, и выражает недоумение, каким образом столь тонкий наблюдатель, как Ньютон, при описываемых экспериментальных средствах не открыл фраунгоферовых линий. Эти линии впервые были открыты в 1802 г. Воластоном, который, описывая своё открытие, замечает: «Впрочем, бесполезно подробнее описывать явления, меняющиеся в зависимости от яркости света, и объяснение которых я не могу принять на себя». «Может быть, такие же соображения заставили и Ньютона умолчать о чёрных линиях солнечного спектра», — высказывает предположение акад. Вавилов.

Важнейшим результатом оптических исследований Ньютона является установление им принципов и методов спектроскопии, этого столь мощного отдела современной физики. Когда современный физик в учебной, заводской или научной лаборатории производит установку призматического спектроскопа, он повторяет те же манипуляции, которые впервые были сделаны Ньютоном. Он будет так же устанавливать призму на угол наименьшего отклонения, регулировать и фокусировать щель коллиматора, как это делал Ньютон. Забегая вперёд, мы скажем здесь, что Ньютоном была осуществлена и первая дифракционная спектральная установка и были предприняты первые промеры длин волн интерференционным методом.

Получив монохроматический лучок, Ньютон тщательно исследует его свойства. Он находит, что его показатель преломления для данной по-

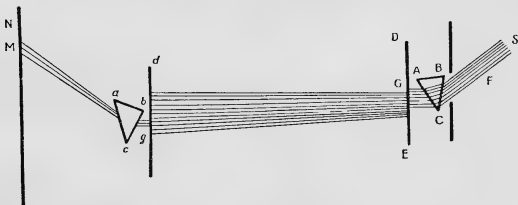


Рис. 119. Рисунок из «Оптики» Ньютона.

«Пояснение. Пусть F (фигура 18) — широкое отверстие в ставне окна, через которое Солнце освещает первую призму ABC , и пусть преломлённый свет падает на середину доски DE , средняя же часть света — на отверстие G , сделанное в середине этой доски. Пусть эта пропущенная часть света снова падает на середину второй доски de и образует здесь такое же удлинённое изображение Солнца, как было описано в третьем опыте. Вращая призму ABC медленно в ту и другую сторону вокруг её оси, можно передвигать это изображение вверх и вниз по доске de ; таким способом все его части от одного конца до другого можно заставить последовательно проходить через отверстие G для второго преломления пропущенного света. Установив таким образом предметы, я отмечал места M и N на противоположной стене, на которые падает преломлённый свет, и нашёл, что если обе доски и вторая призма оставались неподвижными, то эти места постоянно изменялись при вращении первой призмы вокруг её оси. Когда через отверстие q пропускалась нижняя часть света, падающего на вторую доску de , то свет приходил в нижнее положение M на стене; когда пропускалась верхняя часть света через то же отверстие q , то она доходила до более высокого места N на стене; при пропускании промежуточной части света через отверстие свет падал в некоторое место на стене между M и N . При неизменном положении отверстий в досках падение лучей на вторую призму оставалось тем же самым во всех случаях. И, однако, при таком одинаковом падении одни лучи преломлялись больше, другие меньше. Больше преломлялись во второй призме те лучи, которые больше всего отклонялись от своего пути при большом преломлении и в первой призме, и в силу этого постоянства большей преломляемости они по праву могут быть названы более преломляемыми».

верхности падения остаётся неизменным и, следовательно, преломление монохроматического пучка происходит без дисперсии. Точно так же остаётся неизменной и отражательная способность пучка. Цветность пучка при отражениях и преломлениях не меняется. Проверая теории Аристотеля и Доминиса, Ньютон помещает на границе с тенью различные цвета спектра и приходит к выводу: «Все цвета относятся безучастно к любым границам тени, и поэтому различие цветов одного от другого не происходит от различных границ тени, вследствие чего свет видоизменялся бы различным образом, как думали до сих пор философы». Цветность луча, по Ньютону, является его изначальным, неизменным свойством, и Ньютон, основываясь на многочисленных опытах, высказывает следующее утверждение, имеющее весьма важное значение для установления взглядов Ньютона на природу света.

Предложение II. Теорема II.

«Всякий однородный свет имеет собственную окраску, отвечающую степени его преломляемости, и такая окраска не может изменяться при отражениях и преломлениях».

Современная физика внесла поправку в этот постулат Ньютона. Длина волны света меняется при отражении от движущихся зеркал, меняется при рассеянии рентгеновских лучей (эффект Комптона), при комбинационном рассеянии (эффект Рамана, Ландсберга и Мандельштама). Если исключить эти тонкие эффекты, то постулат Ньютона оправдывается с большой точностью. Ньютон в мемуаре «Одна гипотеза, объясняющая свойства света», так формулирует этот важный постулат: «Вид цвета и степень преломляемости, свойственные каждому отдельному сорту лучей, не изменяются ни преломлением, ни отражением, ни какой-либо иной причиной, которую я мог наблюдать. Если какой-нибудь сорт лучей был хорошо отделён от лучей другого рода, то после этого он упорно удерживал свою окраску, несмотря на мои крайние старания изменить её».

Но в таком случае и Ньютон и его оппонет Гук хорошо понимали логическую необходимость этого вывода — свет есть нечто, обладающее тем неизменным качеством, каким является его цветность, определяющая его преломляемость. «... Поскольку цвета — качества света, имеющие лучи своим полным и непосредственным субъектом, то можно ли думать и о лучах, как о качествах, если только качество не может быть субъектом и поддержкой другого качества, что значило бы назвать его в действительности субстанцией. Мы признаём тела субстанций только по их осязаемым качествам, и, буде главные качества чего-то найдены, у нас достаточно оснований полагать это нечто также субстанцией».

Но Ньютон избегает категорического вывода, и когда Гук на основании приведённой выше цитаты приписывает ему утверждение телесности цвета, то он протестует, говоря, что такое утверждение представляет «самое большее... очень вероятное следствие доктрины, но не основное предположение». Он стремится перевести спор на почву достоверно установленных фактов, избегая гипотез. Это оказывается невозможным, и Ньютон принимает решение не публиковать своих оптических работ при жизни Гука. Несомненно, что Ньютону была ясна сложность свойств света, которые было затруднительно объяснить с помощью как одной волновой гипотезы, так и корпускулярной гипотезы. Однако он все более и более склонялся на сторону последней. Может быть, этим предпочтением корпускулярной гипотезе можно объяснить существенные ошибки и пробелы ньютоновской «Оптики». Так, Ньютон, считая преломляемость изначальным качеством светового луча, игнорировал роль вещества и считал дисперсию лучей

одинаковой для всех веществ. Отсюда он делал ошибочный вывод о невозможности устранения хроматической аберрации. Радикальное улучшение оптической аппаратуры могло быть достигнуто, по мнению Ньютона переходом от рефракторов к рефлекторам, и он сам скопструировал такой рефлектор в 1668 г., а затем второй — в 1671 г. Из доктрины Ньютона вытекали его воззрения на цветность тел. Цвета тел обусловлены их способностью ограждать одни лучи сильнее, чем другие. Изучая вопрос о цветности тел, Ньютон не мог не обратиться к исследованию явлений, наблюдаемых в тонких плёнках, явлений, которыми до него занимались Бойль, Гримальди и Гук. Но в отличие от своих предшественников, Ньютон переходит от качественных поверхностных наблюдений к глубокому анализу этих явлений. Желая изучить найденную еще Гуком связь между окраской плёнки и её толщиной, Ньютон придумывает то замечательное расположение линз, которое ныне известно под именем установки для получения ньютоновых колец. Он установил, что получаемые кольца были видны как в проходящем, так и в отраженном свете, но порядок чередования цветов в обеих картинах был обратный. Там, где в отраженном свете наблюдалось кольцо определённого цвета, в проходящем было кольцо дополнительного цвета. Им была установлена зависимость радиуса кольца от толщины слоя и наклона падающих лучей. Он установил, что квадраты диаметров колец возрастают в арифметической прогрессии нечётных или чётных чисел. Изучая чередование колец, Ньютон открывает периодичность света и, по существу, измеряет впервые длину волны¹, являющуюся основной характеристикой этой периодичности. Акад. Вавилов даёт сопоставление измерений Ньютона с современными данными (см. ниже таблицу).

Название цвета	По Ньютопу	Прибл. истинное значение
Крайний фиолетовый	406	393
Между индиго и фиолетовым . .	439	426
» синим и индиго	459	454
» зеленым и синим	492	492
» желтым и зеленым	532	536
» оранжевым и желтым	571	587
» красным и оранжевым	596	647
Крайний красный	645	760

Как видим, измерения Ньютона были произведены с изумительной по тому времени точностью. Отмечаются только значительные расхождения в оранжево-красной части спектра, что вполне понятно при отсутствии достаточно надёжных ориентиров в спектре, особенно в крайних его частях. Такие ориентиры были найдены впоследствии Фраунгофером.

Открытие периодичности света Ньютоном расценивалось им по справедливости как фундаментальное обстоятельство. Современники Ньютона Гук и Гюйгенс, равно как и последующие оптики, не в состоянии были понять значения этого открытия, иначе судьба корпускулярной теории была бы решена раньше исследований Френеля. Ньютон понимал необходимость истолкования найденных фактов и дал оригинальную теорию «приступов», по которой частицы светового луча обладают некоторой внутренней периодичностью, так что у них сменяется периодическая фаза

¹ Точнее, пространственный интервал, соответствующий четверти длины волны. Понятно, что сам Ньютон о длине волны не говорит.

лёгкого прохождения фазой лёгкого отражения, и наоборот. Если частица падает на отражающую поверхность в первой фазе, она будет пропущена ею, в противоположном же случае она будет ею отброшена. Эту свою теорию приступов Ньютон формулирует в следующих выражениях:

Предложение XII.

«Каждый луч света при своём прохождении через любую преломляющую поверхность приобретает некоторое проходящее строение или состояние, которое при продвижении луча возвращается через равные интервалы и располагает луч при каждом возвращении к лёгкому прохождению через ближайшую преломляющую поверхность, между же возвращениями — к лёгкому отражению».

Ньютон устанавливает, что наибольшая разность хода лучей, при которой ещё может происходить интерференция, составляет несколько тысяч таких переменных чередований. Эти чередования зависят от обеих поверхностей: «Они происходят... на второй поверхности, ибо, если бы они происходили на первой, прежде чем лучи дошли до второй, они не зависели бы от второй поверхности».

«На них влияет также некоторое действие или расположение, распространяющееся от первой поверхности, так как иначе на второй поверхности они не зависели бы от первой. И это действие или расположение при своём распространении прерывается и возвращается через равные интервалы».

«Какого рода это действие или расположение? Я не последую здесь. состоит ли оно из вращательного или колебательного движения луча, или среды, или из чего-либо ещё. Те, которые неохотно одобряют всякое новое открытие, если оно не объясняется гипотезой, могут в настоящем случае предположить, что, подобно тому, как камни, падая на воду, приводят её в колебательное движение, и все тела при ударе возбуждают колебания в преломляющей или отражающей среде или веществе, заставляя двигаться твёрдые части преломляющего или отражающего тела, и таким движением вызывают в теле увеличение тепла или жара; можно предположить, что колебания, возбуждённые таким образом, распространяются в преломляющей или отражающей среде или веществе, подобно тому, как колебания распространяются в воздухе, вызывая звук, и движутся быстрее, чем лучи, обгоняя их; когда луч находится в той части колебания, которая согласуется с его движением, он легко пробивается через преломляющую поверхность; находясь в противоположной части колебания, мешающей его движению, он легко отражается; следовательно, каждый луч попеременно располагается или к лёгкому отражению, или в лёгкому пропусканию каждым колебанием, обгоняющим его. Я не разбираю здесь, верна или ошибочна эта гипотеза. Я довольствуюсь простым открытием, что лучи света благодаря той или иной причине попеременно располагаются к отражению или преломлению во многих чередованиях».

Верный своему индуктивно-эмпирическому методу, Ньютон высказывает свою гипотезу направляющих волн очень осторожно. По этой гипотезы он придерживается с постоянством, заставляющим думать, что он усматривал в ней нечто большее, чем первое пришедшее в голову объяснение. Гипотеза направляющих волн высказана была им в мемуаре 1675 г. Она сохранилась во всех изданиях «Оптики», и в «вопросах» последней Ньютон снова возвращается к ней (вопрос 17 «Оптики»). Ньютон усматривал в волновой теории света непреодолимые трудности (о них мы скажем дальше). Но он хорошо представлял природу волнового движения, и открытый им факт периодичности света вызвал в его уме образ волного движения,

направляющего движение световых корпускул. Так Ньютон впервые вводит в оптику дуалистическую теорию волн корпускул. Без этой теории ему трудно было бы объяснить почему одни и те же световые частицы, падая на граничную поверхность, частью отражаются ею, частью пропускаются. Таким образом, Ньютон всё более и более убеждался в сложности световых корпускул и приходил к выводу о необходимости приписывать световым лучам ряд изначальных свойств: цветность, периодичность и, наконец, поляризацию.

В последней части «Оптики» Ньютон описывает дифракционные явления: тень от волоса, явления у края экрана, дифракцию от щели, образованной двумя лезвиями острых ножей, дифракцию от клина. Эти опыты приводят его к выводу, что световые частицы способны взаимодействовать с частицами тел и отклоняться при прохождении около краёв этих тел.

Странно, однако, что Ньютон не заметил внутренней световой полосы в дифракционной картине от волоса и вообще не заметил уклонения света внутрь геометрической тени.

К «Оптике» Ньютона приложены «вопросы», в которых он намечает дальнейшую разработку оптических задач и обсуждает различные гипотезы света. Описывая в этих «вопросах» явление двойного лучепреломления и открытую Гюйгенсом поляризацию, Ньютон приходит к выводу о наличии в световом луче полярных свойств: «Каждый луч можно рассматривать, как имеющий четыре стороны, или четверти, две из которых, противоположные одна другой, склоняют луч к не обыкновенному преломлению, как только любая из них повернётся к краю не обыкновенного преломления в кристалле; две же другие стороны, хотя бы и повернутые к краю не обыкновенного преломления в кристалле, склоняют его только к обыкновенному преломлению». «... Каждый луч света имеет поэтому две противоположные стороны, изначально наделённые свойством, от которого зависит не обыкновенное преломление, и две другие стороны, этим свойством не наделённые».

Это последнее свойство лучей особенно укрепляет Ньютона в убеждении, что свет представляет корпускулы. «Я говорю только, что как бы то ни было трудно понять, каким образом лучи света, если они не являются телами, могут обладать по двум сторонам постоянной способностью, отсутствующей по другим сторонам, причём независимо от их положения в пространстве или среде, через которую они проходят».

Оптика Ньютона
и оптика
Гюйгенса.

Так складывается у Ньютона представление о световых частицах, взаимодействующих с телами на расстоянии и наделённых изначальными неизменными свойствами.

Но он не перестаёт думать и об эфирной теории света, вначале охотно развивая следствия из этой теории (мемуар 1675 г.), а в последние годы всё более и более склоняясь к мысли о её несостоятельности. Волновая теория света в ясной форме была высказана Гюйгенсом в «Трактате о свете», вышедшем в 1690 г., и в расплывчатой и крайне неопределённой форме — Гуком¹. Гюйгенс считал представление о корпускулярности света несовместимым прежде всего с фактом суперпозиции световых потоков (этот аргумент впоследствии будут приводить Ломоносов и Эйлер). «Если принять во внимание чрезвычайную быстроту, с которой распространяется свет во все стороны, а также то, что, когда он приходит из различных и даже совершенно противоположных мест, лучи его проходят один через другой, не мешая друг другу, то станет совершенно понятно, что, когда мы

¹ Мы уже отмечали, что Гук был первым, высказавшим гипотезу поперечных световых волн.

видим светящийся предмет, это не может происходить вследствие переноса материи, которая доходит до нас от этого предмета, наподобие пули или стрелы, пересекающих воздух».

«... Значит, свет распространяется другим образом; привести нас к пониманию способа распространения света может то, что нам известно о распространении звука в воздухе».

Гюйгенс высказывает гипотезу, что свет — это волновое движение в эфире. Распространение волн происходит согласно принципу, по которому каждая точка волнового фронта является центром сферических волн. Огибающая этих волн даёт новое положение волнового фронта. Отдельные волны не могут создавать светового ощущения, и поэтому там, где они не имеют огибающей, световой поток не распространяется. Этим Гюйгенс объясняет образование геометрической тени с резко очерченными краями. Однако, допустив такое объяснение тени, Гюйгенс устранил возможность истолкования дифракции.

Точно так же Гюйгенс отказывается от допущения периодичности световых волн. Его теория света — эта теория взрывных аperiodических импульсов, та теория, которую впоследствии развивал Шустер. Тем самым Гюйгенс исключает возможность истолкования интерференционных явлений в своей теории.

Гюйгенс дал наглядную модель распространения световых волн в кристаллах. Анизотропия кристаллической среды приводит к образованию в ней двойного волнового фронта — обыкновенной и не обыкновенной волны. Но Гюйгенс считает световые волны продольными и, описав весьма хорошо явления двойного лучепреломления, остановился перед объяснением открытого им явления поляризации. Так, создалось парадоксальное положение: волновая оптика Гюйгенса оказалась несостоятельной в истолковании основных фактов волновой же оптики: дифракции, интерференции, поляризации. Гюйгенс обеднил содержание своего трактата, ограничив его рамками геометрической оптики, включая сюда и геометрическую оптику анизотропных тел. Понятно, что трактат Гюйгенса в глазах современников не мог идти ни в какое сравнение с насыщенной огромным физическим содержанием «Оптикой» Ньютона. Ньютон, высоко ценивший Гюйгенса как механика, геометра и астронома, не мог так же высоко оценить его оптику. В его глазах оптика Гюйгенса могла только дискредитировать волновую теорию света. В вопросе 28 своей «Оптики» Ньютон спрашивает: «Не ошибочны ли все гипотезы, в которых свет приписывается давлению или движению, распространяющемуся через некоторую жидкую среду?» — и указывает на такие трудности волновой гипотезы:

1) «Должны были бы наблюдаться загибания света внутри препятствия: давление или движение не могут распространяться в жидкости по прямым линиям около препятствия, задерживающего часть движения — они будут загибаться и распространяться повсюду внутри покоящейся среды, лежащей за препятствием. Так огибают препятствия водяные и звуковые волны. Относительно света неизвестно ни одного случая, чтобы он распространялся по извилистым проходам или загибался внутри тени». И, вспоминая о дифракции, он добавляет: «Лучи, проходящие очень близко от краёв какого-нибудь тела, темного загибаются действием тела, как это мы видели выше; но это загибание направлено не внутрь, но от тени и происходит только при прохождении луча около тела и на очень малом расстоянии от него. Как только луч проходит мимо тела, он идёт дальше по прямой». Как было сказано выше, Ньютон не заметил загибания света внутрь тени.

2) Трудность объяснения поляризации.

3) «Против заполнения неба жидкими средами, если они только не чрезвычайно разрежены, возникает большое сомнение в связи с правильными и весьма длительными движениями планет и комет по всякого рода путям в небесном пространстве. Ибо отсюда ясно, что небесное пространство лишено всякого заметного сопротивления, а следовательно, и всякой ощутимой материи».

«Если же её отбросить, то и гипотезы о том, что свет состоит в давлении или движении, распространяющемся через такую среду, отпадают вместе с нею».

Ньютон предлагает в вопросе 29 «Оптики» другую гипотезу: «Не являются ли лучи света очень малыми телами, искусственными светящимися веществами? Ибо такие будут проходить через однородные среды без загибания в тень, соответственно природе лучей света. Они могут иметь также различные свойства и способны сохранять эти свойства неизменными при прохождении через различные среды, в чём заключается другое условие лучей света. Прозрачные вещества действуют на лучи света на расстоянии, преломляя, отражая и изгибая их, и взаимно лучи двигают части этих веществ на расстоянии, нагревая их; это действие и противодействие на расстоянии очень похожи на притягательную силу между телами».

Так возникли обе знаменитые оптические концепции, авторы которых связывали их с допущением или недопущением действия на расстоянии. Этот вопрос был тесно связан с актуальнейшей проблемой того времени — проблемой тяготения. Рассмотрим эту проблему более подробно.

Проблемой тяготения Ньютон начал заниматься в те же 1665—1666 гг., на которые падают его занятия оптикой и математикой.

Тяготение.

Он сам говорит, что открыл закон тяготения, «постоянно думая об этом предмете». В мемуаре 1675 г. «Об одной гипотезе, объясняющей свойства света», Ньютон высказывается по вопросу о природе тяготения в картезианском духе. Здесь он постулирует существование эфирной среды, имеющей во многом «то же строение, что и воздух, но значительно разреженнее, тоньше и эластичнее». Эфир — неоднородная материя и состоит из основного инертного вещества, к которому примешаны различные эфирные газы или пары. «В пользу такой неоднородности, повидимому, говорят электрические и магнитные истечения и начало тяготения». Ньютон идёт настолько далеко в признании универсальности эфира, что высказывает гипотезу о происхождении из него всех вещей: «Итак, может быть, все вещи произошли из эфира». Конденсацией и испарением эфира можно объяснить электрическую пляску кусочков бумаги под стеклом. «Гравитационное притяжение Земли может также причиняться непрерывной конденсацией некоторого иного, схожего эфирного газа. Этот газ — не основное тело косного эфира, но нечто более тонкое и субтильное, рассеянное в нём, имеющее, возможно, маслянистую или клеевую, вязкую и упругую природу». Этот газ непрерывно испаряется, поднимаясь вверх и падая вниз. Этот падающий газ уылкает тела. «Солнце, как и Земля, быть может, обильно впитывает газы для сохранения своего сияния и для сдерживания планет, — чтобы они не удалились от него».

Но Ньютон не мог ограничиться качественной картиной тяготения, воссозданной им в духе Декарта. Эта картина подсказывала и закон зависимости силы тяготения от расстояния — обратную пропорциональность квадрату расстояния. Отсюда было недалеко до вывода, что Луна удерживается на своей орбите действием земной тяжести, ослабленной по сравнению с её величиной на земной поверхности во столько раз, во сколько раз квадрат расстояния Луны от центра земли больше квадрата радиуса

Земли. Можно было вычислить напряжение поля тяжести на лунной орбите и сравнить его с величиной центростремительного ускорения, вычисленной по формуле Гюйгенса. Расчёты, проделанные Ньютоном, не дали удовлетворительных результатов, и Ньютон отказался на время от своей гипотезы.

Более точные измерения радиуса Земли, произведённые Пикаром, вновь побудили Ньютона к проверке его гипотезы. Результат получился вполне удовлетворительным. Луна, несомненно, непрерывно падает на Землю, одновременно удаляясь от неё равномерным движением по кас-

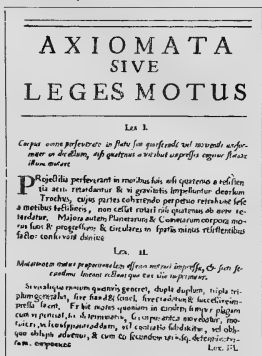
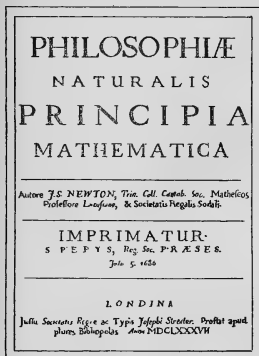


Рис. 120. Титул «Начал» Ньютона и страничка с аксиомами.

тельной. Сила тяжести распространяется до Луны, убывая обратно пропорционально квадрату расстояния.

Дальнейший шаг состоял в том, чтобы распространить закон тяготения на солнечную систему. Из законов Кеплера математическим анализом Ньютон приходит к выводу, что силой, удерживающей планеты на орбитах вокруг Солнца, является сила взаимного тяготения, убывающая обратно пропорционально квадрату расстояния. Обратно, допустив существование такой силы, Ньютон показал, что планета будет двигаться по коническому сечению, форма которого определена начальными условиями. Эти сложные расчёты, приведшие его к результатам, хорошо согласующимся с астрономическими данными, позволили Ньютону сделать последний шаг — обобщить найденную зависимость в качестве всеобъемлющего закона природы, охватывающего взаимодействия всех материальных частиц. Так непрерывной, напряжённой работой мысли Ньютон пришёл к своему великому открытию.

Закон тяготения оставался ещё гипотезой, поскольку экспериментально не было доказано существование такого тяготения для всех тел. Но Ньютон после успешного применения его в небесной механике не сомневался в универсальной применимости найденного закона. Так как этот закон непрерывно проверялся им то на движении Луны, то на законах Кеплера,

то Ньютон полагал его выведенным чисто индуктивным путём, а трудности согласования точной формы законов с картезианской картиной движений в непрерывной среде побудили его забыть о своих первоначальных размышлениях и ограничиться формально-описательной стороной дела. Повидимому, так и возникло знаменитое *Hypotheses non fingo*, имеющее целью положить конец бесконечным спорам и беспочвенным домыслам и сконцентрировать внимание на важной и трудной задаче математического описания движений тел, взаимодействующих с силами, зависящими от расстояния. Этой задаче и посвящены в своей основной части «Математические начала натуральной философии», к анализу которых мы и обращаемся.

Б. «Начала» Ньютона.

«Начала» — это вершина научного творчества Ньютона. Осторожный Ньютон не спешил с опубликованием своего бессмертного творения и уступил только настояниям Галлея, взявшего на себя расходы по изданию. Величие замысла автора «Начал», подвергнувшего математическому анализу систему мира, глубина и строгость изложения поразили современников. С выходом в свет «Начал» слава Ньютона стала общепризнанной, его авторитет — непререкаемым. Антикarteзианской и антиматериалистической оппозиции было чрезвычайно важно привлечь на свою сторону Ньютона. Отсюда возникает знаменитая борьба за второе издание «Начал». Котс и епископ Бентли приложили много усилий, чтобы выхолостить из «Начал» материалистический дух и придать им боевую, полемическую, антикартезианскую окраску. Старания этих поклонников Ньютона, положивших начало ньютоnianству, сводились к одному существенному пункту; изгнать материалистические гипотезы из физики, объективизировать категорию силы, действующей на расстоянии. Выполнению этой задачи посвящено предисловие Котса ко второму изданию «Начал».

Предисловие Котса.

В начале своего предисловия Котс говорит о трёх методах, применяемых в изучении физики. Первый метод — это метод перипатетиков, стремящихся всё объяснить с помощью скрытых качеств. У них, как говорит Котс, «всё сводилось в наименовании отдельных предметов, а не к самой сущности дела, и можно сказать, что ими создан философский язык, а не самая философия».

Второй метод — метод картезианцев. «Они утверждали, что всё вещество во вселенной однородно и что всё различие видов, замечаемое в телах, происходит от некоторых простейших и допустимых пониманию свойств частиц, составляющих тела». Котс обвиняет картезианцев в том, что они приписывают частицам не истинные, а вымышленные свойства.

«Таким образом, они предаются фантазиям, пренебрегая истиной сущностью вещей, которая, конечно, не может быть изыскана обманчивыми предположениями, когда её едва удаётся исследовать при помощи точнейших наблюдений. Заимствующие основания своих рассуждений из гипотез, даже если бы всё дальнейшее было ими развито точнейшим образом на основании законов механики, создали бы весьма изящную и красивую басню, но всё же лишь басню».

«Остаётся третья категория — это те, кто является последователями экспериментальной философии (т. е. экспериментального метода при исследовании явлений природы). Они также стремятся вывести причины всего сущего из возможно простых начал, но они ничего не принимают за начало, как только то, что подтверждается совершающимися явлениями. Они не измышляют гипотез и не вводят их в физику иначе, как в виде пред-

положений, коих справедливость подлежит исследованию. Таким образом, они пользуются двумя методами — аналитическим и синтетическим. Силы природы и простейшие законы их действия они выводят аналитически из каких-либо избранных явлений, а затем синтетически получают законы остальных явлений». Этот метод и есть метод Ньютона.

Чтобы иллюстрировать сущность ньютоновского метода и одновременно дать бой в самом важном пункте, Котс излагает учение ньютоновцев о тяготении. Это учение базируется на следующих предпосылках:

1. «Все тела тяготеют к Земле». Не существует истинно лёгких тел, вопреки мнению перипатетиков.

2. «Если все тела тяготеют к Земле, то и Земля равным образом тяготеет ко всем телам». Если бы тяготение не было взаимным, то, разделив мысленно объем Земли на две части, мы нашли бы, что одна часть, перетягивая другую, заставила бы Землю ускоренным движением удалиться в бесконечность. Этого не наблюдается, действия обеих произвольно взятых частей уравниваются, т. е. действия тяготения взаимны и между собою равны».

3. «Веса тел, равноудаленных от центра Земли, относятся между собой, как количества материи или массы тел». Экспериментально это доказывается равенством ускорений падающих тел в бойлевой пустоте и опытом с маятниками.

4. «Притягательные силы тел при равных расстояниях пропорциональны массам тел». Отсюда следует, что действие Земли складается из действий отдельных частиц её и «все земные тела взаимно притягиваются с абсолютными силами, пропорциональными массе притягивающего тела. Такова природа силы тяжести на Земле; рассмотрим, какова она в небесном пространстве», — заключает Котс.

Так как планеты движутся по криволинейным орбитам, то должна существовать сила, отклоняющая их от прямолинейного пути по касательной. Из первого и второго законов Кеплера можно вывести существование центральной силы. «Этой силе может быть придаваемо подходящее наименование: по отношению к движущемуся телу её можно назвать центростремительной, по отношению к центральному телу — притягательной, независимо от того, какой бы причине её происхождение ни приписывалось». Из третьего закона Кеплера следует, что эта сила обратно пропорциональна квадрату расстояния.

«Таким образом, центростремительные силы для всех планет обратно пропорциональны квадратам расстояний до центров орбит». Установив существование таких сил, следует далее исследовать, одинаковы ли эти силы с силой тяжести или нет. Произведённый в первую очередь анализ движения Луны показывает, «что центростремительная сила, которою Луна постоянно отклоняется от касательной к своей орбите и вынуждается описывать эту орбиту, есть сила тяжести Земли, распространяющаяся до Луны». Так как движение планет — явление той же природы, что и движение Луны, и подчиняется тем же законам, то отсюда следует вывод о всеобщем характере силы тяготения. «Как Луна тяготеет к Земле, и, обратно, Земля к Луне, так и все спутники тяготеют к своим главным планетам, и, обратно, главные планеты — к своим спутникам, и, наконец, все главные планеты — к Солнцу, и Солнце — к ним».

Центростремительная сила Солнца распространяется не только на планеты, но и на кометы. «Следовательно, природа тяготеющих сил такова, что их силы источаются на всякие расстояния и действуют на все тяготеющие тела, и все планеты и кометы взаимно притягиваются и тяготеют друг к другу».

«Отсюда следует, что и отдельные малейшие частицы обладают также притягательными силами, пропорциональными их массам, как это было показано для тел земных. Эти силы также будут обратно пропорциональны квадратам расстояний, ибо математически доказывается, что шары, составленные из частиц, притягивающихся по этому закону, притягиваются по такому же закону».

До сих пор Котс точно излагает метод Ньютона и правильно указывает на противоположность этого метода фантастическим построениям крайних картезианцев. Ньютона так утомляли бесконечные споры о гипотезах света и тяжести, что он не мог не отнестись сочувственно к критике позиций картезианцев, давшей Котсом. Но он не мог согласиться, как это мы увидим из дальнейшего анализа его «Начал», и с теми крайними выводами, к которым приходит Котс. Каковы же эти выводы?

Первый и основной вывод Котса заключается в том, что тяготение объявляется общим свойством тел. «Подобно тому, как нельзя представить себе тело, которое бы не было протяжённым, подвижным и непроницаемым, так нельзя себе представить и тело, которое бы не было тяготеющим, т. е. тяжёлым».

Котс чувствует, что его концепция мало отличается от признания тяжести скрытым качеством, и парирует это возражение замечанием, что свойство тяжести не скрыто, а подтверждено наблюдениями. Одновременно он делает выпад против своих противников: «Правильнее признать, что к скрытым причинам прибегают те, кто законы этих движений приписывает неведомо каким вихрям некоторой чисто воображаемой материи, совершенно непоспигаемой чувствами».

Котс объявляет тяготение простейшей причиной, которая не нуждается в дальнейшем объяснении. «Поэтому, после того как показано, что тяготение действительно имеет место в природе, и после того как показано, каким образом от него происходит движение всех небесных тел, то совершенно напрасно и заслуживает лишь осмеяния возражение, что те же движения следует ещё объяснить и вихрями, если бы даже такое объяснение и оказалось возможным, чего мы, однако, совершенно не допускаем».

И Котс приступает к резкой критике гипотезы вихрей. Его аргументация сводится к следующим пунктам:

1) Если планеты и кометы переносятся вихрями, то придётся допустить, что, поскольку и планеты и кометы могут проходить через одно и то же место с различными скоростями, части эфирной жидкости несутся с различными скоростями. «Спрашивается, если множество вихрей заключается в том же самом пространстве и эти вихри проникают друг через друга и обладают разнообразными движениями, ибо их движения должны соответствовать движениям переносимых ими тел — движениям, совершающимся по коническим сечениям и с чрезвычайною правильностью, и притом то весьма растянутым, то весьма близким к кругу, то как же может быть, что эти вихри сохраняют свою целостность и в течение веков не претерпевают никаких возмущений от столкновений с встречаемой ими материей».

2) В соответствии с действием центробежной силы материи вихря должна обладать большей плотностью на периферии вихря, и, следовательно, проходящие через вихрь кометы будут встречать громадное сопротивление, которое и проявилось бы весьма ощутительно, чего на самом деле не наблюдается.

3) Из отсутствия сопротивления движущимся в ней телам следует заключить, что небесная жидкость не инертна. Но она тогда ничем не отличается от пустоты.

Но самым решающим в глазах Котса аргументом против картезианцев, не допускающих существования пустоты в природе, является неизбежность материалистических выводов из их философии. «Но тогда их надо причислить к отребью того несчастного стада, которое думает, что мир управляется роком, а не провидением и что материя, в силу своей собственной необходимости, всегда и везде существовала, что она бескопечна и вечна». Котс и расценивает с точки зрения волнующего идеализма картезианство и ньютоновство, отдавая предпочтение последнему.

«Мир, отличающийся прекраснейшими формами и разнообразием движений, мог произойти не иначе, как только по свободной воле всё определяющего и всем управляющего божества».

«Из этого источника и проистекли все те свойства, которые мы называем законами природы, в которых проявлено много величайшей мудрости, но нет и следов необходимости. Поэтому эти законы надо искать не в компьютерных допущениях, а распознавать при помощи наблюдений и опытов. Если же кто возомнит, что он может найти истинные начала физики и истинные законы природы единственной силой своего ума и светом своего рассудка, тот должен признать, или что мир произошёл в силу необходимости и что существующие законы природы явились следствием той же необходимости, или же что мироздание установлено по воле бога и что он, ничтожнейший человечий, сам бы предвидел всё то, что так превосходно создано. Всякая здравая и истинная философия должна основываться на изучении совершающихся явлений, которое, если мы не будем упорствовать, приведёт нас к познанию тех начал, в коих с наибольшим ясностью проявляются высочайшая мудрость и всемогущество всемудрейшего и всемогущего творца. Поэтому нельзя отвергать эти начала в силу того, что некоторым людям они не нравятся. Эти начала можно называть или чудесами, или скрытыми свойствами, как кому угодно, — насмешливые названия не обращаются в недостатки самого дела. Или же придётся признать, что философия основана на безбожии».

Такова позиция ньютоновцев, с предельной ясностью сформулированная Котсом, со всеми вытекающими из неё реакционными идеалистическими выводами. Котс при прямом соучастии епископа Бентли и предпринимал тщательную обработку «Начал» в ньютоновском духе. О действительной же позиции самого Ньютона мы можем сделать вывод только после полного анализа его «Начал».

Предисловие Ньютона.

Первому изданию «Начал» предпослано предисловие самого Ньютона. Ньютон указывает в этом предисловии на основную тенденцию современного ему естествознания: «подчинить явления природы законам математики». Эта же задача является и задачей сочинения Ньютона. Ньютон указывает далее, что такой важный отдел математики, как геометрия, основывается на механической практике и, следовательно, является частью общей механики. Эта глубокая мысль Ньютона только впоследствии будет подхвачена и развита Эйнштейном. Развивая подробнее идею своего сочинения, Ньютон как бы мимоходом набрасывает программу механической физики:

«Сочинение это нами предлагается как математические основания физики. Вся трудность физики, как будет видно, состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления» (курсив мой. — П. К.). Так, в первых двух книгах сочинения Ньютона по наблюдаемым явлениям выводится закон действия центральных сил, и в третьей книге найденный закон применяется к описанию системы мира. *Было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы*, рассуждая подобным же образом, ибо

многое заставляет меня предполагать, что все эти явления обуславливаются некоторыми силами, с которыми частицы тел, вследствие причин, откуда неизвестных, или стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры, или же взаимно отталкиваются и удаляются друг от друга» (курсив мой. — П. К.).

Так формулирует Ньютон цели и методы теоретической физики. Первой задачей её, по Ньютону, является задача адекватного математического описания наблюдаемых явлений. Но это только первая задача, хотя и чрезвычайно важная. Причины взаимодействий частиц откуда неизвестны; это не значит, как полагают ньютоналисты, что их и не следует искать. Ньютон полагает иное. Об этом он сам скажет в «Общем поучении» к «Началам». В своем же сочинении он предполагает ограничиться первой частью задачи.

Масса и сила
у Ньютона.

Уже в намеченной Ньютоном программе ясно чувствуется позиция автора. Ньютон выступает в ней как атомист. Забвение этого обстоятельства и вызвало столько недоумений по поводу ньютонова определения массы, с которого и начинается его сочинение. Вот это определение:

Определение I.

«Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объёму её».

В самом деле, это определение предполагает предварительное определение плотности. Последнюю мы определяем сейчас как массу единицы объёма. Ньютон же в пояснении к определению подчёркивает, что от уплотнения частиц масса тела увеличивается, как, например, увеличивается масса воздуха при его сжатии, масса порошка или снега от сжатия или талания; «при этом я не принимаю в расчет той среды, если таковая существует, которая свободно проникает в промежутки между частицами». Следовательно, плотность тела, по Ньютону, определяется числом частиц в единице объёма. Опытным путём масса определяется по весу тела, «ибо она пропорциональна весу, что мною найдено опытами над маятниками, произведёнными точнейшим образом...»

То обстоятельство, что Ньютон указывает способ физического сравнения масс по их весам, позволяет забыть о зависимости его определения от натурфилософских воззрений. Масса Ньютона — это не мера инерции Декарта, это неизменное, не зависящее ни от каких обстоятельств количество вещества. Само собой разумеется, что масса обладает свойством аддитивности: в совокупности тел общее число частиц равно сумме частиц отдельных тел, и, следовательно, масса совокупности тел равна сумме масс отдельных тел. Однако Ньютон оговаривает специально не аддитивность массы, а аддитивность количества движения. Определив последнее как величину, пропорциональную произведению массы на скорость («Определение II»), он добавляет: «Количество движения целого есть сумма количеств движения отдельных частей его».

Понятие количества вещества имеет метафизический оттенок, пока не указаны способы его измерения. Вес — это внешнее действие на материю, переменное по своему характеру, и потому не может быть отождествлён с тем неизменным атрибутом тела, каким, по Ньютону, является масса. В чём же проявляется масса тела? Ответом на этот вопрос является:

Определение III.

«Врождённая сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоста-

влено самому себе, удерживает своё состояние покоя или равномерного прямолинейного движения». «Эта сила, — добавляет Ньютон, — пропорциональна массе, и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на неё».

Вот здесь-то и вводится обычное физическое определение массы как меры инерции. Инерция тела проявляется двояко — как сопротивление и как напор: «Как сопротивление — поскольку тело противится действующей на него силе, стремясь сохранить своё состояние; как напор — поскольку то же тело, с трудом уступая силе сопротивляющегося ему препятствия, стремится изменить состояние этого препятствия». Инерция является первоначальным неизменным атрибутом материи, её «врождённой силой», поэтому её вполне можно отождествить с количеством вещества. Пропорциональность её весу является случайным, необъяснимым обстоятельством.

Так обстоит дело у Ньютона с понятием массы. Последующие определения посвящены уточнению понятия силы.

Если к категории массы Ньютон подходит с позиций атомизма, то к категории силы он подходит в своеобразном картезианском духе, а именно — с точки зрения теории поля. Современная теория поля — это математическая разработка картезианской идеи физического пространства, и основные понятия этой теории установлены в ньютоновых «Началах».

Определив силу («Определение IV») как «действие», производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения», Ньютон указывает на внешний по отношению к телу характер этого действия. Сила может быть произведена ударом, давлением и, наконец, некоторым силовым центром. Это последнее действие Ньютон считает необходимым определить полнее и точнее.

Определение V.

«Центростремительная сила есть та, с которой тела к некоторой точке, как к центру, отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся».

Таким полем центростремительных сил является пространство вокруг Земли, пространство вокруг магнита, пространство вокруг Солнца. Центростремительная сила в каждой точке такого пространства определяется мощностью самого силового центра, положением точки воздействия и, наконец, массой тела, помещённого в эту точку. В связи с этим Ньютон различает в центростремительной силе три фактора её: абсолютную, ускорительную и движущую величину.

Определение VI.

«Абсолютная величина центростремительной силы есть мера большей или меньшей мощности самого источника её распространения из центра в окружающее его пространство».

Определение VII.

«Ускорительная величина центростремительной силы есть мера, пропорциональная той скорости, которую она производит в течение данного времени».

Определение VIII.

«Движущая величина центростремительной силы есть её мера, пропорциональная количеству движения, которое ею производится в течение данного времени».

То, что Ньютон называет «ускорительной силой», есть не что иное, как напряжённость силового поля — фундаментальное понятие теории силового поля. Движущая сила пропорциональна как напряжённости поля, так и массе тела. Её можно измерить статическим методом, прикладывая к телу силу, препятствующую его перемещению под действием силового поля. Ньютон подчёркивает, что вводимые им понятия являются математическими характеристиками поля. «Эти понятия должны рассматривать как математические, — заявляет он, — ибо я ещё не обсуждаю физических причин и места нахождения сил». И несколько ниже он ещё раз указывает: «название же «притяжение» (центром), «натиск», или «стремление» (к центру) я употребляю безразлично одно вместо другого, рассматривая эти силы не физически, а математически, поэтому читатель должен позаботиться, чтобы ввиду таких названий не думать, что я ими хочу определить самый характер действия или физические причины происхождения этих сил, или же приписывать центрам (которые суть математические точки) действительно и физически силы, хотя я и буду говорить о силах центров и о притяжении центрами».

Следовательно, Ньютон не склонен объективизировать силу, как это делали ньютоновцы. Он рассматривал её как математическую категорию, которая позволяет описать то взаимодействие тел, результатом которого являются их ускорения.

Взгляды Ньютона на пространство и время.

Раздел «Определения» заключается знаменитым «Понятием», в котором Ньютон излагает свои взгляды на пространство и время, относительное и абсолютное движение. Ньютон хорошо знает, что наблюдаемые

в природе движения имеют относительный характер: «движение и покой, при обычном их рассмотрении, различаются лишь в отношении одного к другому, ибо не всегда находится в покое то, что таковым простому взгляду представляется, — говорит он в пояснении к «Определению III», и описание их требует задания системы отсчёта. Но Ньютон полагал, что можно говорить об абсолютном движении тел, заимствуя у Гассенди представления об абсолютном пространстве и времени. Вот как определяет он эти фундаментальные в его механике понятия:

«I. Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью».

Относительное, кажущееся, или обыденное время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения, мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как то: час, день, месяц, год».

II. Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему остаётся всегда одинаковым и неподвижным».

Относительное есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное: так, например, протяжение пространств подзем-

ного воздуха или надземного, определяемых по их положению относительно Земли. По виду и величине абсолютное и относительное пространства одинаковы, но численно не всегда остаются одинаковыми. Так, например, если рассматривать Землю подвижной, то пространство нашего воздуха, которое по отношению к Земле остаётся всегда одним и тем же, будет составлять то одну часть пространства абсолютного, то другую, смотря по тому, куда воздух перешёл, и, следовательно, абсолютно сказанное пространство беспрерывно меняется.

III. Место есть часть пространства, занимаемая телом, и по отношению к пространству бывает или абсолютным, или относительным. Я говорю «часть пространства», а не положение тела и не объемлющая его поверхность. Для равнообъемных тел места равны, поверхности же от несходства формы тел могут быть и неравными. Положение, правильно выражаясь, не имеет величины, и оно само по себе не есть место, а принадлежащее месту свойство. Движение целого то же самое, что совокупность движений частей его, т. е. перемещение целого из его места то же самое, что совокупность перемещений его частей из их мест, поэтому место целого то же самое, что совокупность мест его частей, и, следовательно, оно целиком внутри всего тела.

IV. Абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, относительное — из относительного в относительное же».

Признавая объективное существование пространства и времени, Ньютон становится на материалистическую точку зрения. Но, отрывая абсолютное пространство и время от реальных вещей и процессов, Ньютон придаёт этим категориям метафизический характер. Абсолютное время характеризуется, по Ньютону, равномерностью течения; для относительного времени, постигаемого в процессах, например движениях светил, такой равномерности может и не быть. «Возможно, что не существует (в природе) такого равномерного движения, которым время могло бы измеряться с совершенной точностью». Абсолютное пространство Ньютона — это абсолютно неподвижное пространство. «Как неизменен порядок времени, так неизменен и порядок частей пространства. Если бы они переместились из мест своих, то они продвинулись бы (так сказать) в самих себя, ибо время и пространство составляют как бы вместилища самих себя и всего существующего. Во времени всё располагается в смысле порядка последовательности, в пространстве — в смысле порядка расположения. По самой своей сущности они суть места, приписывать же первичным местам движения нелепо. Вот эти-то места и суть места абсолютные, и только перемещения из этих мест составляют абсолютные движения».

На практике же мы имеем дело с относительными движениями, связывая системы отсчёта с теми или иными телами. «Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих». Абсолютное же время и пространство непостижимы чувствами и теряют свой физический характер, превращаясь в чистые абстракции. Можно было бы обойтись при физических исследованиях и без этих абстракций, оперируя с темп пространственно-временными представлениями, к которым приводит изучение реальных процессов.

Однако Ньютон полагает, что существуют физические способы обнаружения абсолютных движений, т. е. перемещений тел в абсолютном пространстве. Обнаружить равномерное прямолинейное движение системы отсчёта невозможно по классическому принципу относительности Галилея, приписываемому и Ньютоном. Но можно обнаружить проявления абсо-

лютного движения системы. Абсолютное движение отличается от относительного тем, что приложенные силы действительно изменяют абсолютное движение тела, в то время как относительное движение может измениться и без действия сил на тело — достаточно только, чтобы силы действовали на окружающие тела. Если подвесить на верёвке сосуд с водой и, закрутив верёвку, предоставить ей возможность раскручиваться, то будут наблюдаться следующие явления: сосуд приходит в движение, вода же неподвижна, и её поверхность плоская. По мере раскручивания верёвки вода также начинает вращаться, и это скажется в повышении её уровня у стенок и понижении в центре — части воды удаляются от оси вращения. Таким образом, в начальный момент относительное движение сосуда и воды было наибольшим, однако никаких проявлений этого относительного движения воды не наблюдалось. Затем относительное движение сосуда и воды уменьшилось, вода пришла во вращение так же, как и сосуд, и это проявилось в удалении частиц воды от оси вращения. Вот это-то стремление вращающихся тел удалиться от оси вращения и даёт возможность распознать абсолютное вращение. «Таким способом, — говорит Ньютон, — могло бы быть определено количество и направление кругового движения внутри огромного пустого пространства, где не существовало бы никаких внешних доступных чувствам признаков, к которым можно было бы отнести положения шаров¹. Если бы в этом пространстве, кроме того, находились ещё некоторые весьма удалённые тела, сохраняющие относительное друг к другу положение, подобно тому, как наши неподвижные звёзды, то по перемещению шаров относительно этих тел мы не могли бы определить, чему принадлежит это перемещение — телам или шарам. Но если бы мы, определив натяжение нити, нашли, что это натяжение как раз соответствует движению шаров, то мы заключили бы, что движение принадлежит шарам, а не внешним телам, и что эти тела находятся в покое».

Ньютон и полагает, что задачей механики является «нахождение... истинных движений по причинам, их производящим, по их проявлениям и по разностям кажущихся движений и, наоборот, нахождение по истинным или кажущимся движениям их причин и проявлений». Так вошла в физику ньютоновская концепция абсолютного пространства и времени.

Установив систему отсчёта, покоящуюся в абсолютном пространстве, Ньютон переходит к формулировке законов механики в этой системе. Эти знаменитые законы Ньютона формулируются им следующим образом.

Закон I.

«Всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние».

Лекс I.

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

¹ Речь идёт у Ньютона о воображаемом опыте исследования вращательного движения шаров, связанных нитью, ось вращения которых проходит через центр тяжести шаров. По натяжению нити можно констатировать, вращаются шары или нет.

Закон II.

«Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует».

Lex II.

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae et fieri secundum lineam rectam, qua vis illa imprimitur.

Закон III.

«Действие всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе — взаимодействия двух тел друг на друга равны и направлены в противоположные стороны».

Lex III.

Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi

Стержнем ньютоновской динамики является второй закон, который математически можно записать так:

$$F = \frac{d(mv)}{dt}.$$

Сила, как указывает третий закон, всегда является взаимодействием между телами. Она определяется конфигурацией взаимодействующих тел, т. е. их массами и взаимными расстояниями. Она не будет зависеть от состояния тела и от наличия других сил. Отсюда вытекает в качестве следствия принцип суперпозиции сил, формулируемый Ньютоном в виде правила параллелограмма сил. Это следствие даёт возможность Ньютону перекинуть мост от динамики к статике; он трактует действие простых машин, разлагая и складывая действующие силы по правилу параллелограмма. Таким путём он выводит закон равновесия косого рычага и действие наклонной плоскости. А это даёт возможность вывести «соотношения между усилиями в машинах, составленных из колёс, барабанов, поротов, рычагов, блоков, натянутых канатов и других механизмов, и весами грузов, поднимаемых или прямо, или наклонно, а также силы связей, приводящих в движение кости животных».

Из третьего и второго законов Ньютон выводит закон сохранения количества движения для замкнутой системы, т. е. системы, не подверженной действиям внешних сил, а только взаимодействиям тел, входящих в эту систему (следствие III). В следствии IV утверждается: «Центр тяжести системы двух или нескольких тел от взаимодействия тел друг на друга не изменяет ни своего состояния покоя, ни движения: поэтому центр тяжести системы всех действующих друг на друга тел (при отсутствии внешних действий и препятствий) или находится в покое, или движется равномерно и прямолинейно».

«Следовательно, — заключает Ньютон, — по отношению к центру тяжести системы нескольких тел имеет место тот же самый закон сохранения состояния покоя или равномерного и прямолинейного движения, как и для одного тела. Таким образом, поступательное количество движения отдельного ли тела, или системы тел надо всегда рассчитывать по движению центра тяжести». Так Ньютон устанавливает это весьма важное для динамики системы предложение.

Наконец, из принципа независимости действия сил и из того, что силы взаимодействия определяются только расстоянием между телами, вытекает классический принцип относительности Галилея—Ньютона.

Следствие V. «Относительные движения друг по отношению к другу тел, заключённых в каком-либо пространстве, одинаковы, покоится ли это пространство или движется равномерно и прямолинейно без вращения».

Точно так же относительное движение тел не изменяется, если приложить одновременно ко всем телам равные и одинаково направленные силы.

Раздел «Начало», посвящённый изложению аксиом движения и ближайших следствий из них, заключается «Поучением», в котором идёт речь об опытной проверке законов движения. Первые два закона и вытекающий из них принцип независимости действия сил подтверждён опытами Галилея пад падающими телами. Отправляясь от тех же законов, можно вывести формулу качания маятника, которая подтверждена уже практикой с часами. Третий закон динамики был подтверждён опытами Рена и Мариотта пад ударами шаров. Сам Ньютон повторил эти опыты с большей точностью, введя поправку на сопротивление воздуха. Он нашёл, что «третий закон по отношению к удару и отражению подтверждается теорией, вполне согласующейся с опытом».

Подтверждается третий закон и для взаимодействий на расстоянии. Если бы эти взаимодействия не были равны, то, поместив между взаимно притягивающимися телами препятствие, мешающее их сближению, можно было бы обнаружить, как это препятствие уступает действию большей силы. «Я производил подобный опыт с магнитом и железом; если их поместить каждый в отдельный сосуд и пустить плавать на спокойной воде так, чтобы сосуды взаимно касались, то ни тот, ни другой не приходят в движение, но вследствие равенства взаимного притяжения сосуды испытывают равные давления и остаются в равновесии». Точно так же, если бы взаимные притяжения частей Земли не уравнивались, то Земля ушла бы ускоренным движением в бесконечность.

Ньютон считал особенно необходимым подтвердить экспериментально третий закон, как новый и впервые в отчетливой форме высказанный им. Этим объясняется и то, что он сам проделал опыты, подтверждающие этот закон, и то, что он указывает далее на большой опытный материал, доставляемый статическими машинами. «Подобно тому, как при ударе и отражении тела, коих скорости обратно пропорциональны массам, равнозначущи, так и при движении механических приборов действующие силы, коих скорости, взятые по направлению самих сил (проекции скорости точки приложения каждой силы на направление этой силы), обратно пропорциональны этим силам, равнозначущи между собой, и при стремлении в противоположные стороны взаимно уравниваются. Так обстоит дело в рычаге, блоке, наклонной плоскости, винте, часах и во всякого рода машинах... Действительность и назначение машин в том только и состоит, чтобы, уменьшая скорость, увеличивать силу, и наоборот, ибо во всех подобных рода приборов в сущности решается такая задача: заданный груз двигать заданною силой или же заданное сопротивление преодолеть заданным усилием». И Ньютон заключает поучение многозначным выводом:

«Дальнейшее изложение учения о машинах сюда не относятся, я хотел лишь показать, сколь далеко простирается и сколь благонадежен третий закон движения. Если действие движущей силы оценивать пропорционально произведению этой силы и скорости и подобно этому противодействие сопротивлений оценивать для каждой части в отдельности пропорционально произведению её скорости и встречаемого ею сопротивления,

происходящего от трений, сцепления, веса и ускорения, то во всякой машине действие и противодействие будут постоянно равны, и поскольку действие передаётся машиной и в конце концов прилагается к сопротивляющемуся телу, то это последнее его значение будет обратно значению противодействия».

«В этих заключительных словах поучения, — комментирует акад. Крылов, — можно видеть не только начало возможных перемещений в его всеобъемлющем приложении к учению о равновесии машин, т. е. вообще систем тел с полной связью или одною степенью свободы, но и сущность принципа Даламбера, лишь высказанную в столь сжатой форме, что нужен был гений Лагранжа, чтобы это общее начало выразить одною математическою формулой, включающей в себя всю статику и динамику».

Так Ньютон привлекал для обоснования механики весь современный ему механический опыт. Законы Ньютона подтвердились дальнейшим развитием механики с исключительной точностью. Только в области больших скоростей, с одной стороны, и для весьма малых частиц — с другой, выявились отступления от ньютоновских законов. В области же механики земли и неба ньютоновы законы сохраняют полностью свою силу. Ближайшая задача состояла в том, чтобы развить со всей полнотой следствия из этих законов. Этой задаче и посвящено содержание «Начал».

Содержание
первых двух
книг «Начал».

«Начала» распадаются на три части: первые две части трактуют о движении тел, последняя часть посвящена системе мира. Первая часть книги разделена на четырнадцать отделов, вторая — на девять, третья часть на

отделы не подразделяется.

Первый отдел первой книги озаглавлен «О методе первых и последних отношений, при помощи которого последующее доказывается». Отдел посвящён изложению математического аппарата, его содержание было рассмотрено нами выше.

Второй отдел посвящён вопросу нахождения центростремительных сил. В первых предложениях этого раздела устанавливается связь между теоремой площадей и центральным характером силы (теоремы I, II, III). Вывод, к которому приходит Ньютон в результате доказанных предложений, сформулирован в коротком «Почении»: «Так как равномерное описание площадей служит указателем центра, к которому направляется оказывающая наибольшее влияние на движущееся тело сила, которую оно и отклоняется от прямолинейного пути и удерживается на своей орбите, то почему бы не принять в последующем равномерное описание площадей вообще за признак центра, около которого происходит всякое круговое движение в свободном пространстве».

В четвёртом предложении выводится выражение для центростремительной силы, найденное впервые Гюйгенсом, как указывает и Ньютон в «Почении» к этому предложению. В последующих предложениях даются вспомогательные формулы для расчета центростремительных сил.

Третий отдел первой книги посвящён выводу закона центростремительной силы из законов Кеплера. Здесь устанавливается, что движение тела по коническому сечению: эллипсу, гиперболу, параболу — поддерживается силой, направленной к фокусу и обратно пропорциональной квадрату расстояния от этого фокуса. Доказывается, что этот же закон силы приводит и к третьему закону Кеплера. В последнем предложении отдела указывается способ определения орбиты тела, находящегося под действием центростремительной силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния от центра сил, и выходящего из заданного положения с заданной скоростью. В зависимости от величины скорости орбита тела будет эллипсом,

параболой или гиперболой. В следствиях указываются методы учёта действия возмущающих сил.

Четвёртый и пятый отделы посвящены чисто геометрическим вопросам определения орбит по известным данным. Отдел VI озаглавлен «Об определении движения по заданным орбитам» и посвящён вопросу нахождения уравнения движения тела по заданной орбите: параболической и эллиптической.

Седьмой отдел посвящён исследованию прямолинейного движения тела, подверженного действию центральной силы. Здесь Ньютон чисто геометрическим путём решает задачу об определении движения тела, притягиваемого или отталкиваемого силовым центром, если начальная скорость его направлена к центру. Заключительное предложение этого отдела формулировано в виде следующей задачи:

Предложение XXXIX. Задача XXVII.

«Предполагая центростремительную силу какою угодно и допуская квадратуру кривит, требуется определить как скорость движущегося прямо к центру или от центра тела в любой точке, так и время, в течение которого оно придет в какое-либо место и обратно».

Чтобы дать представление о геометрическом методе Ньютона, приведём найденное им решение задачи.

«Из какой-либо заданной точки A по прямой $ADEC$ падает тело. Из всякой точки E его пути (рис. 121) восставляется перпендикуляр EG , по коему откладывается длина EG , пропорциональная величине центростремительной силы, действующей в этой точке E и направленной к центру C ; пусть кривая BFG проходит через места точек G , причём в начале движения EG совпадает с перпендикуляром AB , тогда скорость в какой угодно точке E будет пропорциональна стороне квадрата, равномерного с криволинейною площадью $ABGE$ ».

Рис. 121.

Беря на прямой EG длину EM , обратно пропорциональную стороне сказанного квадрата, строится кривая, на которой постоянно лежат точки M . Эта кривая будет иметь прямую AB своей асимптотой. Время, в течение которого падающее тело проходит путь AE , будет пропорционально площади $ABTVME$.

Поясним решение. Пусть начальная скорость тела равна нулю, начальное расстояние от центра $AC = x_0$. Массу тела примем за единицу. Тогда для любого момента времени имеем:

$$\frac{dv}{dt} = f(x), \text{ на чертеже } x = AE, f(x) = EG, \frac{1}{v} = EM.$$

В начальный момент времени

$$= 0, v = 0, x = x_0 = AC,$$

$$f(x_0) = AB.$$

Имеем

$$\frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = f(x)$$

или

$$v \frac{dv}{dx} = f(x);$$

$$\frac{1}{2} d(v^2) = f(x) dx; \quad v^2 = 2 \int_0^x f(x) dx \propto ABGE.$$

Этим и доказывается первая часть найденного Ньютоном решения. Таким образом, предложение Ньютона представляет собой не что иное, как теорему живых сил для прямолинейного центрального движения. Далее

$$v = \sqrt{\int_0^x f(x) dx} = F(x);$$

$$\frac{dx}{dt} = F(x); \quad dt = \frac{dx}{F(x)}; \quad t = \int_0^x \frac{dx}{v}.$$

Этим доказывается вторая часть найденного Ньютоном решения. Ньютон, следовательно, впервые находит теорему живых сил и впервые представляет работу площадью. Ему же принадлежит применение этой теоремы к нахождению закона движения (первый интеграл уравнений движения). Этот результат Ньютон обобщает в следующем, восьмом разделе «Начал» на случай любого закона центральных сил и любой начальной скорости. Предложение XL, теорема XIII «Начал» выражает найденную Ньютоном консервативность поля центральных сил:

«Если тело под действием какой угодно центростремительной силы движется как бы то ни было, другое же тело движется прямолинейно, прямо к центру или от центра, и скорости обоих тел в некотором их положении, в котором они равноудалены от центра сил, равны, то эти скорости будут равны и во всяких других положениях обоих тел, равноудалённых от центра».

В самом деле, теорема живых сил даёт:

$$\frac{1}{2} (v^2 - v_0^2) = \int_{r_0}^r f(r) ds \cdot \cos(\overline{ds} \cdot \bar{r}) = \int_{r_0}^r f(r) dr.$$

Ньютон проводит доказательство геометрически, разлагая силу, действующую в какой-либо точке траектории тела, на нормальную и касательную составляющие. Нормальная составляющая не меняет скорости тела по величине, «а будет лишь уклонять его от прямолинейного пути и заставлять, непрерывно отступая от касательной к орбите, описывать криволинейный путь. Вся эта сила и поглощается на производство этого действия». Отсюда видно, насколько ясно Ньютон представляет здесь понятие работы. Нормальная составляющая силы работы не производит, работа же тангенциальной силы идёт на ускорение тела, причём приращения скорости оказываются зависящими только от расстояния его от центра. В следствии из этого предложения Ньютон указывает, что если центростремительная сила пропорциональна какой-либо степени A^{n-1} , коей показатель $n-1$ есть любое число n , уменьшённое на 1, тогда при всяком расстоянии A скорость

тела будет пропорциональна $\sqrt{P^n - A^n}$, где P — наибольшее расстояние тела от силового центра, на которое может удалиться качающееся или обращающееся по какой-либо траектории тело, если бы его в какой-либо точке подбросить прямо от центра с тою скоростью, которую оно в этой точке обладает. Действительно, по теореме живых сил:

$$v^2 = 2 \int_{r_0}^r \frac{dr}{r^n - 1}; \quad (v_0 = 0, \quad m = 1),$$

$$v^2 = \frac{2}{n} (r_0^n - r^n) = \frac{2}{n} (P^n - A^n); \quad \sqrt{\frac{2}{n}} = C,$$

$$v = C \sqrt{P^n - A^n}, \quad \text{где } P = r_0, \quad A = r.$$

Этой теоремой Ньютон пользуется для решения следующих задач.

Задача XXVIII.

«Предполагая центростремительную силу какою угодно и допуская квадратуру кривых, требуется найти как траекторию, по которой будет двигаться тело, так и закон его движения по найденной траектории».

Задача XXIX.

«При заданном законе центростремительной силы требуется определить движение тела, выходящего из заданного места с заданного по величине и направлению скорости».

Девятый отдел «Начал» посвящён рассмотрению движения тела по вращающимся орбитам.

В десятом отделе, озаглавленном «О движении тел по заданным поверхностям и о колебательном движении подвешенных тел», рассматривается задача маятника. Ньютон рассматривает здесь циклоидальный маятник Гюйгенса. В заключительном предложении этого раздела рассматривается несвободное движение точки под действием центральной силы.

Одиннадцатый отдел «О движении тел, взаимно притягивающихся центростремительными силами» ставит во всей общности задачу центрального движения. Вначале изучается задача движения двух тел, в предложении же LXV формулируются условия, при которых «несколько взаимодействующих по закону обратной пропорциональности квадрату расстояния тел могут двигаться по эллипсам, описывая радиусами, проведёнными к фокусу, площади, весьма близкие к пропорциональности времени». Эти условия выполняются, когда несколько малых тел обращаются «около какого-нибудь большого в различных от него расстояниях и... притягиваются друг к другу пропорционально своим массам». Таким образом, это предложение имеет исключительное значение для теории солнечной системы. Последующее предложение играет фундаментальную роль в теории Луны.

Предложение LXVI. Теорема XXVI.

«Если три тела притягиваются взаимно с силами, обратно пропорциональными квадратам расстояний, и оба меньших обращаются вокруг третьего наибольшего, то площади, описываемые радиусом, проводимым от среднего и ближайшего к наибольшему, будут ближе к пропорциональности временам, и его траектория ближе к эллипсу, в фокусе которого

сходятся эти радиусы, когда это наибольшее тело будет двигаться под действием сказанных притяжений, нежели в том случае, когда оно, не испытывая притяжений от малых тел, оставалось бы в покое, или же, будучи притягиваемо или значительно сильнее, или значительно слабее, совершало бы или гораздо большие, или гораздо меньшие движения».

В следствиях из этого предложения рассматриваются неравенства движения Луны и даётся теория приливов и отливов. В целом одиннадцатый отдел «Начал» является основополагающим отделом теоретической астрономии. Проблема тяготения здесь ставится во всей её полноте. Ньютон приходит к фундаментальному выводу о «пропорциональности между центростремительными силами и массами тех центральных тел, к которым эти силы направляются». Подробнее вопрос о тяготении исследуется в разделе «Система мира».

В двенадцатом отделе «О притягательных силах сферических тел» Ньютоном закладываются основы теории потенциала. Ньютон доказывает здесь, что сферический слой не действует на внутреннюю точку, на внешнюю же — так, как если бы вся его масса была сосредоточена в центре (при условии, что элементарный закон тяготения сводится к обратной пропорциональности квадрату расстояния взаимодействующих частиц и прямой пропорциональности произведению масс). Точно так же он устанавливает, что действие шара на внутреннюю точку пропорционально её расстоянию от центра, и на внешнюю — обратно пропорционально квадрату расстояния от центра. Рассматриваются случаи взаимодействия шаров и способы подсчёта действия шара на точку. В предложении LXXXII формулируется теорема XLI, послужившая В. Томсону основой для его метода электрических изображений¹. Короче говоря, основы теории потенциального силового поля были заложены Ньютоном в этом и последующем, тринадцатом разделе «Начал», трактующем «О притяжении тел несферических».

Первая книга «Начал» заканчивается четырнадцатым отделом «О движении весьма малых тел под действием центростремительных сил, направленных к отдельным частицам весьма большого тела». Отдел этот представляет особый интерес, так как по существу он даёт механическую основу ньютоновой оптики. Отдел открывается следующим предложением:

Предложение XCIV. Теорема XLVIII.

«Если две однородные среды разделяются пространством, заключённым между двумя параллельными плоскостями, и тело при переходе через это пространство притягивается или побуждается к одной из средин перпен-

¹ Это предложение гласит:

«Если для шара, коего центр S и радиус SA , взять расстояния SJ и SP так, чтобы

$$SJ : SA = SA : SP,$$

то отношение притяжения шаром внутренней точки J к притяжению внешней точки P равно произведению отношения $\sqrt{SJ} : \sqrt{SP}$ на корень квадратный из отношения притяжений точек P и J центром шара».

Точка J по отношению к точке P (рис. 122) названа Томсоном «электрическим изображением».

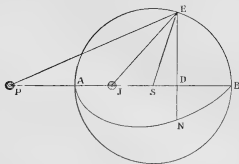


Рис. 122.

дикулярно к плоскости раздела, других же сил к нему никаких не приложено, и если при этом притяжение, при всяком расстоянии от обеих плоскостей, одно и то же и направлено в ту же сторону, то синус угла падения на первую плоскость находится в постоянном отношении к синусу угла выхода из второй» (рис. 123).

Таким образом, если обозначить скорость частицы при падении на первую плоскость через v_0 , угол падения через α_0 , скорость частицы по выходе — через V , угол выхода через α , то предположение Ньютона запишется в виде закона преломления:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha} = \frac{V}{v_0}.$$

Это равенство легко получить из уравнений движения частицы, если принять за ось z перпендикуляр к поверхности раздела, а за ось x — линию пересечения плоскости падения с плоскостью раздела. Принимая, что сила притяжения является функцией z и действует на

Рис. 123.

всём расстоянии h между граничными плоскостями, получим уравнения движения частицы:

$$x'' = 0; \quad z'' = f(z). \quad (1)$$

Начальные условия:

при $t = 0$, $x = 0$, $z = 0$,

$$x_0' = v_0 \sin \alpha_0; \quad z' = v_0 \cos \alpha. \quad (2)$$

По теореме живых сил:

$$\frac{1}{2} (v^2 - v_0^2) = \int_0^z f(z) dz. \quad (3)$$

При

$$z = h; \quad v = V$$

и направление движения составляет угол α с осью z . На основании уравнения (2)

$$V \sin \alpha = v_0 \sin \alpha_0.$$

По уравнению же (3)

$$V^2 = v_0^2 + 2 \int_0^h f(z) dz. \quad (4)$$

Уравнение (4) даёт

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha} = \frac{V}{v_0};$$

следовательно, скорость частицы в более плотной среде возрастает. У Ньютона смысл постоянного отношения синусов раскрывается в предложении XCV.

Предложение XCV. Теорема XLIX.

«При тех же предположениях я утверждаю, что скорость частицы до падения относится к её скорости после выхода, как синус угла выхода к синусу угла падения».

Известно, что в теории Гюйгенса отношение синусов оказывается равным прямому отношению скоростей, а не обратному, как это получается у Ньютона. Поэтому в качестве *experimentum crucis* мог бы служить опыт по изменению скоростей света в воздухе и воде. Как известно, опыт Фуко решил вопрос в пользу теории Гюйгенса.

Следующее предложение трактует о полном отражении.

Предложение XCVI. Теорема L.

«Предполагая то же, что и ранее, и что скорость движения до падения больше скорости после такового, утверждаю, что можно настолько увеличить наклонение линии падения, что частица будет отражаться, причём угол отражения будет равен углу падения» (рис. 124).

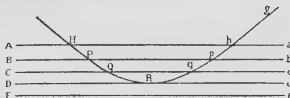


Рис. 124.

В «Поучении» Ньютон указывает, что «от изложенных выше движений частицы почти не отличается отражение и преломление света, совершающиеся в постоянном отношении секансов, как это найдено Снеллиусом, следовательно, и в постоянном отношении синусов, как это изложено Декартом». Это может служить основанием для принятия корпускулярной теории света. Другим основанием может служить то обстоятельство, что скорость света, по наблюдениям Рёмера, оказалась конечной, а не бесконечной, как полагал Декарт. Наконец, третьим доводом, о котором также упоминается в «Поучении», являются дифракционные явления, открытые Гримальди. «Когда... лучи находятся в воздухе... то при проходе близ углов тел непрозрачных или прозрачных... они загигаются в сторону к телу, как бы будучи к нему притягиваемыми». Но Ньютон, переходя к изложению двух предложений, касающихся геометрической оптики, снова делает оговорку, что он не будет касаться «самой природы лучей» (телесная она или нет). Предложения оптики он будет устанавливать, «совершенно её не обсуждая, а только находя пути тел, подобные ходу лучей». Таким образом, Ньютон рассматривает корпускулярную теорию как формальную, удобную для описания световых явлений, но не претендующую на более глубокое значение.

Этим отделом и заканчивается первая книга «Начал». Если в ней трактовалось потенциальное поле в вакууме, то во второй книге рассматривается влияние среды. Это влияние прежде всего сказывается в возникновении сил сопротивления (внутреннего трения), зависящих от скорости движущегося в среде тела. Учёт этого влияния производится с помощью эмпирических формул. В первом отделе принимается, что силы сопротивления пропорциональны скорости. В первых предложениях этого отдела изучается действие таких сил. Устанавливается, что изменение количества движения, вызываемое такими силами, пропорционально пройденному

телом пути ¹ и что скорость убывает в геометрической прогрессии ². Рассматриваются задачи, имеющие важное значение для баллистики, а именно: движение тела, брошенного вверх, и движение тела, брошенного под углом.

«Впрочем, — заключает Ньютон в «Поучении» к этому отделу, — предположение, что сопротивление пропорционально скорости, более математическое, нежели соответствующее природе». Более соответствующим природе будет предположение, что силы сопротивления будут пропорциональны квадрату скорости. Второй отдел и посвящён вопросу движения тел при сопротивлении, пропорциональном квадрату скорости. В этом отделе Ньютон вводит свой метод исчисления флюксий. Сложную задачу отыскания багистической кривой Ньютон заменяет другой, несколько искусственной: «Отыскать закон изменения плотности среды, в которой тело двигалось бы по заданной кривой».

В третьем отделе закон сопротивления задаётся многочленом

$$f = -k_1 v - k_2 v^2$$

и даются геометрические приёмы вычисления путей, проходимых телом, брошенным вверх.

В четвёртом отделе рассматривается вопрос о круговом движении в сопротивляющейся среде. Это будет движение по спирали, пересекающей радиусы-векторы под постоянным углом; при этом центростремительная сила принимается пропорциональной n -й степени плотности, плотность среды обратно пропорциональна расстоянию от центра, сопротивление пропорционально плотности.

Пятый отдел посвящён гидростатике. Вначале даётся определение жидкости:

«Жидкость есть такое тело, коего части уступают всякой как бы то ни было приложенной силе, и уступая, свободно движутся друг относительно друга». Отсюда выводится равномерное распределение давлений (в невесомой жидкости) и вычисляется давление на дно, производимое тяжелой жидкостью. В предложении XXI, теорема XVI, устанавливается закон распределения плотностей жидкости, находящейся в поле центростремительных сил, обратно пропорциональных квадрату расстояния. При этом жидкость подчиняется закону Бойля-Мариотта: плотность пропорциональна давлению. Частным случаем найденного Ньютоном распределения будет барометрическая формула, впервые полученная Галлеем. В заключительном предложении отдела Ньютон исследует закон взаимодействия частиц, образующих жидкость, подчиняющуюся закону Бойля. В предложении устанавливается, что плотность жидкости будет пропорциональна давлению, если частичные отталкивательные силы обратно пропорциональны расстоянию между частицами. Эти силы, подобно магнитным силам, действуют на очень малом расстоянии, на более же отдалённые частицы не оказывают никакого влияния. Здесь мы имеем интересную попытку Ньютона вывести из молекулярно-атомной гипотезы закон Бойля ³. Такая

¹ В самом деле, если $m \frac{dv}{dt} = -\lambda v = -\frac{\lambda dx}{dt}$, то $\int_{v_0}^v m dv = -\lambda \int_{x_0}^x dx$;

$$m(v - v_0) = \lambda(x_0 - x).$$

² $m \frac{dv}{dt} = -Rv$; $v = v_0 e^{-\frac{R}{m} t}$.

³ Правда, не для кинетических соображений. Эта задача решается им как статическая.

проблема для Ньютона не случайна. Мы увидим далее, что она целиком и полностью вытекает из его натурфилософских концепций. Но, как и всюду в «Началах», Ньютон стремится избежать категорических суждений и заканчивает раздел о жидкостях таким характерным замечанием: «Состоят ли жидкости из взаимно отталкивающихся частиц — есть вопрос физический. Мы доказали математически свойства жидкостей, состоящих из таких частиц, и предоставляем физикам повод исследовать этот вопрос».

Шестой отдел посвящён изучению затухающих колебаний маятников в сопротивляющейся среде. Этот вопрос Ньютон исследовал весьма тщательно, проделывая опыты над изучением качания маятников в сопротивляющейся среде, справедливо полагая, что подобные исследования дают материал для характеристики сопротивляющейся среды. Кроме того, опыты с маятниками дают возможность исследовать весьма точно вопрос о пропорциональности массы и веса. Сопротивление среды интересовало Ньютона и как важная практическая проблема (наилучшая форма обтекаемости судов), и как проблема, имеющая крупное философское значение в связи с гипотезой эфира. Любопытна в связи с этим попытка Ньютона сравнить сопротивление воздуха с сопротивлением эфира. Сопротивление воздуха действует на наружную поверхность тела, эфир же, проникая в поры между частицами тел, должен вызывать и внутреннее сопротивление. «Поэтому я произвёл испытания, чтобы определить, сосредоточено ли полностью сопротивление, испытываемое телами при движении, на их наружной поверхности, или же и внутренние части тел претерпевают заметное сопротивление». Ньютон измерил сопротивление порожней слюдой кадочки, качающейся на нити в 11 футов длиной, и сопротивление той же кадочки, заполненной металлом. Он пришёл к заключению, что сопротивление на наружную поверхность в 5 тысяч с лишним раз больше сопротивления на внутренние частицы.

В седьмом отделе «О движении жидкостей и сопротивлении брошенных тел» рассматривается механизм сопротивления и влияние формы тела на сопротивление, испытываемое им при движении в жидкости. Здесь, следовательно, Ньютон ставит важные и трудные вопросы гидродинамики вязкой жидкости, для решения которых ещё не было в его время достаточных экспериментальных данных и необходимых математических средств. Но гений Ньютона и здесь наметил пути решения поставленных задач. Он начинает раздел с формулировки теоремы о подобии, а известно, какое огромное значение имеет теория подобия в современной гидро- и аэродинамике. Переходя к вопросу о влиянии размеров, скоростей тел и плотностей сред, Ньютон исходит из гипотезы о механизме сопротивления. По Ньютону, «сопротивление происходит частью от центробежных и центростремительных сил взаимодействия между частицами, частью от ударов частиц о большие части систем и отражений от них. Сопротивления первого рода будут пропорциональны квадратам скоростей, квадратам сходственных измерений и плотностям частей систем». «Сопротивления второго рода пропорциональны числу и силе соответствующих ударов и отражений». В результате оказывается, «что сопротивления, испытываемые соответствующими частями систем, относятся между собой, как произведения квадратов скоростей на квадраты линейных измерений и на плотности частей». Изучая влияние формы тела на сопротивление и установив, что сопротивление шара, при равных диаметрах и скоростях, вдвое меньше сопротивления цилиндра, Ньютон ставит задачу нахождения наиболее обтекаемой формы, подходя к вариационным проблемам. Не останавливаясь на ошибочной теории Ньютона истечения жидкости из отверстия в дне сосуда, укажем, что последние предложения этого раздела посвящены изучению движения

шара в вязкой жидкости. Этот вопрос интересовал Ньютона постольку, поскольку он давал возможность экспериментального исследования вязко-стей жидкости по временам падения шаров. В результате своих исследований Ньютон приходит к выводу, что гипотеза эфира несовместима с движением планет.

«Небесные пространства, через которые планетные и кометные шары повсюду непрестанно движутся совершенно свободно и без всякого заметного уменьшения своего количества движения, совершенно лишены какой-либо телесной жидкости, за исключением, может быть, чрезвычайно тонких шаров и пронизывающих эти пространства световых лучей».

Восьмой отдел посвящён изучению волнового движения в жидкой среде. Прежде всего Ньютон устанавливает, что движение в жидкости может передаваться и не по прямой линии.

Предложение XLI. Теорема XXXII.

«Давление не распространяется через жидкость прямолинейно, если только частицы жидкости не лежат на одной прямой».

Предложение XLII. Теорема XXXIII.

«Всякое движение, распространяющееся через жидкость, отклоняется от прямого пути в области, занятые неподвижной жидкостью».

Далее Ньютон изучает волны, создаваемые в среде колеблющимся источником. Для водяных волн, частицы которых движутся по круговым путям, Ньютон устанавливает пропорциональность скорости распространения корню квадратному из длины волны. Рассматривая распространение гармонических колебаний в газах, Ньютон устанавливает, что скорость распространения будет прямо пропорциональна корню квадратному из упругости среды и обратно пропорциональна корню квадратному из плотности. Предполагая справедливым для среды закон Бойля, он выводит формулу для скорости звука в газе:

$$c = \sqrt{\frac{p_0}{\rho_0}}.$$

Вычисления по этой формуле не дают правильного результата. Ньютон не нашёл удовлетворительного объяснения этому расхождению, которое, как показал Лаплас, обусловлено тем, что процесс распространения волны не является изотермическим и что удовлетворительный результат получается, если принять, что сгущения и разрежения происходят адиабатически.

Последний, девятый отдел «Начал» посвящён рассмотрению вихревых движений в жидкостях. Цель этого раздела — выяснить, насколько согласуется вихревая гипотеза Декарта с законами Кеплера. Правда, у Ньютона ещё не было столь важного для теории вращательного движения понятия момента количества движения, и поэтому в его расчёты вкралась ошибка, тем не менее, вычисления угловых скоростей вращения частиц жидкости на различных расстояниях от вращающегося шара не приводят к третьему закону Кеплера. Ньютон показывает, что «если в однородной и беспредельной жидкости вращается равномерно около постоянной оси твёрдый шар, и жидкость приводится во вращательное движение единственно только этим патиском, и всякая её часть продолжает сохранять своё равномерное движение, то... времена оборотов частиц жидкости будут

пропорциональны квадратам их расстояний до центра пара». Гасчёт Ньютона основан на законе количества движения, если же заменить его законом момента количества движения, то указанная пропорциональность будет не квадратной, а кубической. «Пусть философы сами посмотрят, — заключает Ньютон, — при каком условии может быть объяснено вихрями явление, заключающееся в существовании указанного полукубического отношения» (т. е. третьего закона Кеплера).

Далее Ньютон устанавливает, что благодаря действию центробежных сил «тела, которые при переносе вихрем описывают постоянно одну и ту же орбиту, должны обладать одинаковою с вихрем плотностью и двигаться по тому же закону скорости и её направления, как и части самого вихря».

«Следовательно, тело, обращающееся вместе с вихрем по неизменной орбите, находится в покое по отношению к жидкости, в которой оно плавает».

«Если вихрь повсюду одинаковой плотности, то то же самое тело может обращаться на любом расстоянии от центра». А значит, планеты не могут переноситься вихрями, так как они движутся по законам Кеплера, которым не удовлетворяют части вихря. «Таким образом, гипотеза вихрей совершенно противоречит астрономическим явлениям и приводит не столько к объяснению движений небесных тел, сколько к их запутанности. Способ, которым эти движения совершаются на самом деле в свободном пространстве, можно понять по первой книге, подробнее же он рассматривается в изложении «Системы мира».

Таково содержание «Начал»¹. По богатству содержания, по глубине и напряжённости мысли это произведение принадлежит к числу немногих созданий человеческого гения. Научный подвиг Ньютона был по справедливости оценён современниками. Но и потомки не переставали черпать из этой сокровищницы физической мысли, какой являются «Начала». Метод Ньютона служил примером Амперу и Фарадею, Томсону и Максвеллу, Эйнштейну и Дираку. И на долгие времена дейное богатство «Начал» будет вдохновлять творческую физическую мысль.

Ньютонианцы
и картезианцы.

Мы должны теперь рассмотреть вопрос о физических воззрениях Ньютона и об их влиянии на последующее развитие физической мысли. Нам неоднократно приходилось отмечать, как в ходе своих исследований Ньютон был вынужден втягиваться в дискуссию по основным натурфилософским воззрениям. Мы знаем из предыдущего изложения, что центральными моментами этих дискуссий являлись вопросы о природе света и о природе тяготения. Именно в этом пункте резко расходились две основные точки зрения: картезианская и ньютонианская.

Резюмируем сущность обоих направлений. Мы уже отмечали, что картезианскую и бэконовско-ньютонианскую точку зрения объединяют общие интересы в борьбе со схоластикой Аристотели. Мы можем теперь пойти дальше и констатировать, что их объединяет присущий им обоим механицизм. Когда картезианец Гюйгенс называет истинной ту философию, «в которой причину всех естественных явлений постигают при помощи соображений механического характера», то он перекликается с ньютоновским пожеланием «вывести из начал механики и все остальные явления природы». Разногласия возникают в вопросе о методе и в указанных выше натурфилософских концепциях.

¹ Третья книга «Начал» посвящена изложению «Системы мира». Она распадается на две части, одна из которых представляет собой интерес для характеристики натурфилософских воззрений Ньютона и будет рассмотрена нами в связи с анализом этих воззрений. Вторая же часть — астрономическая — не является темой нашего очерка.

Мы говорили выше о методе Декарта, в котором научная интуиция и тесно связанная с ней научная гипотеза играют первостепенную роль. В противоположность этому ньютонианцы выдвигают лозунг «не измышлять гипотез», и Котс в своём предисловии называет гипотетические построения картезианцев вымыслами и баснями. Эмпирико-индуктивный метод, сводящийся у крайних ньютонианцев к позиции «чистого описания», они считают единственно надёжным, единственно научным.

По основным физическим воззрениям разногласия сводятся к двум пунктам: допущение или недопущение пустоты и отношение к категории силы. В физике Декарта, если исключить теологический мост, соединяющий её с его метафизикой, нет места имматериальности; весь мир материален. Отсюда логически вытекает и отсутствие пустоты и изгнание категории силы как некоего надматериального агента, одушевляющего материю. В частности, сила тяжести не может быть каким-то изначальным свойством тел, «она, — говорит Гюйгенс, — будучи усилием или стремлением к движению, должна, по всей вероятности, производиться движением». Вот в чём гвоздь вопроса! Движение может порождаться только движением, а не какой-то посторонней нематериальной причиной.

У ньютонианцев в природе имеет место дуализм материи и пустоты. Материальные частицы являются силовыми центрами, благодаря чему они взаимодействуют друг с другом. Раскрывать природу тяготения не следует, достаточно дать формальное описание дальнего действующего притяжения. Вольтер весьма остроумно охарактеризовал разногласия картезианцев и ньютонианцев:

«Если француз приедет в Лондон, то найдёт здесь большое различие в философии, так же как во многих других вещах. В Париже он оставил мир полным вещества, здесь находит его пустым. В Париже вселенная наполнена эфирными вихрями, тогда как здесь в том же пространстве действуют невидимые силы. В Париже давление Луны на море причиняет прилив и отлив, в Англии, наоборот, — море тяготеет к Луне. У картезианцев всё делается через давление, что, по правде сказать, не совсем ясно; у ньютонианцев всё объясняется притяжением, что, впрочем, не много яснее».

Мы уже говорили о тесной связи философских споров с религиозно-политической борьбой того времени. Бенгли и Котс. В Англии в соответствии со своеобразным ходом процесса распада феодальных отношений и идеологическая борьба протекала также своеобразно. От полного индифферентизма к религии, позволившего Генриху VIII беспрепятственно осуществлять свою земельную и церковную политику, до ожесточённых боёв гражданской войны с молитвенником и мечом, от кровавого террора католической реакции до не менее кровавой расправы с иезуитами в период «Славной революции» — таков ход этой борьбы. В Англии сложились условия для возникновения материализма в аристократической среде, которая считала религию и духовенство главной причиной гражданских смут. В годы реставрации материалистическое настроение аристократического общества вылилось и в насмешки над духовенством, и в учреждение Королевского общества для развития опытных наук, и в широкое распространение атеизма под влиянием материалистических идей Гоббса. «Трактиры, кофейни, ... даже сами церкви полны атеистов», — говорит епископ Бенгли. Именно в Англии и создались условия для использования науки в целях защиты религии. Яркой иллюстрацией этого обстоятельства является завещание Бойля. Бойль в своём завещании назначил ежегодно 50 фунтов в год тому проповеднику, который произнесёт 8 проповедей «в защиту христианской религии против заведо-

мых безбожников..., не затрагивая при этом каких-либо спорных между самими христианами вопросов». Эти бойлевские лекции и начал читать Ричард Бентли — ректор колледжа Св. Троицы в Кембридже. Он поставил своей задачей защитить религиозные догматы, аргументируя не авторитетом священного писания, а «научными» доводами, и афишировал намерение опираться на «могучие томы самой видимой природы и вечные таблицы здравого разума». С этой целью он и обращается к Ньютону за материалом для утверждения, что мир не мог быть вечным и не может существовать вечно сам по себе, а необходимо должен возникнуть и поддерживаться нематериальным божественным импульсом. С этой целью он и поручил Котсу обработать «Начала» в целях удаления из них картезианского духа и материалистических гипотез. Книга Ньютона должна была, по мнению Бентли, представлять «вернейшую защиту против нападок безбожников, и нигде не найти лучшего оружия против нечестивой шайки, как в этом колчане» (из предисловия Котса). Котс и предпринял обработку «Начал» в указанном Бентли духе. Для характеристики переделок Котса и позиции Ньютона мы должны остановиться на содержании третьей книги «Начал».

Третья книга «Начал».

Третья книга «Начал» — это учение о системе мира. Она завершает этап героической борьбы за новое мировоззрение и по самому своему содержанию не могла стоять в стороне от «сутижной дамы» — философии. Правда, Ньютон, чтобы, как он выразился, «те, кто, недостаточно поняв начальные положения¹, а потому совершенно не уяснив силы их следствий и не отбросив привычных им в продолжение многих лет предрассудков, не вовлекли бы дело в пререкания», постарался облечь ее в строгую математическую форму, понятную лишь немногим. Но в числе таких немногих оказались Котс и Бентли, и совершенно избежать тяжбы с «сутижной дамой» Ньютону не удалось.

В первом издании Ньютон предпосылает изложению системы мира девять гипотез:

Гипотеза I. Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений.

Ибо «природа проста и не роскошествует излишними причинами».

Гипотеза II. Поэтому должно приписывать те же причины того же рода явлениям природы.

Так, например: дыхание людей и животных, падению камней в Европе и Америке, свету кухонного очага и Солнца, отражению света на Земле и на планетах.

Гипотеза III. Каждое тело может преобразовываться в тело другого какого-либо рода, проходя через все промежуточные ступени качеств.

Гипотеза IV. Центр системы мира находится в покое, это признаётся всеми, между тем, как одни полагают, что Солнце находится в центре, другие — что Земля.

Гипотеза V. Спутники Юпитера описывают радиусами, проведенными к его центру, площади, пропорциональные временам; времена их обращений по отношению к неподвижным звёздам находятся в полукубическом отношении их расстояний до того же центра.

Гипотеза VI. Пять главных планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн — охватывают своими орбитами Солнце.

¹ Механики. — II. К.

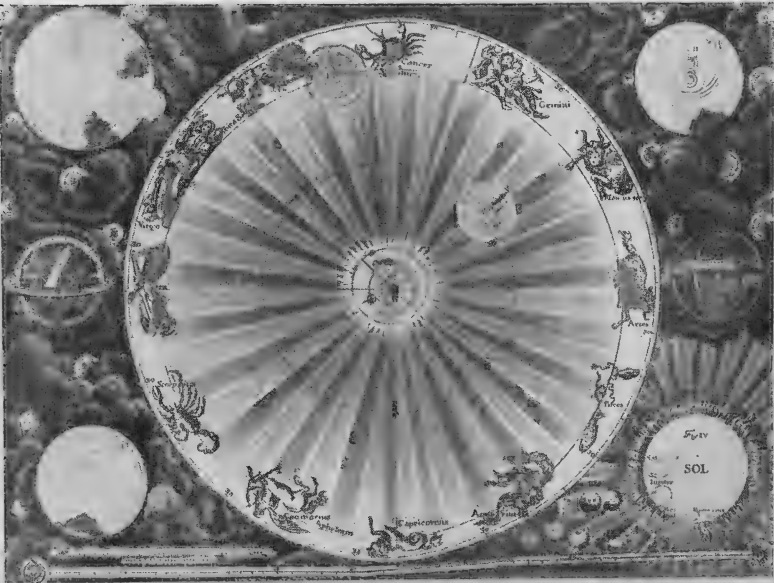


Рис. 124а. План мира начала XVIII в.

Гипотеза VII. Звёздные времена (обращений) пяти главных планет, а также Солнца вокруг Земли или Земли вокруг Солнца находятся в полукубическом отношении их средних расстояний от Солнца.

Гипотеза VIII. Главные планеты радиусами, проведёнными к Земле, описывают площади, совершенно не пропорциональные временам, радиусами же, направленными к Солнцу, пробегают площади, пропорциональные временам.

Гипотеза IX. Луна радиусом, проведённым к центру Земли, описывает площадь, пропорциональную времени.

Во втором издании, отредактированном Котсом, выброшены названия гипотез для восьми из девяти приведённых. Под названием первой гипотезы сохранилась только четвёртая гипотеза. Соображения, заставившие и Котса и Ньютона назвать систему Коперника гипотезой, ясны. Первые три гипотезы названы «Правилами философствования», причём третья гипотеза выброшена и заменена таким правилом:

Правило III. Такие свойства тел, которые не могут быть ни усилены, ни ослаблены и которые оказываются присущими всем телам, над которыми можно производить испытания, должны быть почитаемы за свойства всех тел вообще.

Гипотезы V—IX названы «Явлениями». К ним добавлено ещё предложение о спутниках Сатурна.

Наконец, ко второму изданию «Начал» Ньютон добавил «Общее поучение», содержащее знаменитое *«hypotheses non fingo»*. Со своей стороны, Котс предпослал второму изданию уже рассмотренное нами предисловие, которое Ньютон категорически отказался просмотреть и санкционировать. Ньютон в своём коротеньком предисловии даже не упоминает имени Котса, хотя последний проделал колоссальную работу по редактированию «Начал». Ньютон не мог отнестись сочувственно к самой идее использования «Начал» в качестве боевого антикартезианского и антиматериалистического оружия — этим и объясняется его поступок в отношении Котса. И самый текст «Начал», несмотря на все старания Котса, находится в резком противоречии со сделанными им в предисловии заявлениями.

Воззрения
Ньютона на
единство мира.

Мы уже отмечали, что в этом предисловии Котс нападает на основной тезис картезианцев — об однородности материи, все явления в которой определяются простыми законами. Богатство форм и разнообразие явлений мира, по мнению Котса, не могли произойти иначе, как по воле божества. Бентли в письме к Ньютону 18 февраля 1692 г. приводит аргументы, подлежащие опровергнуть тезис Декарта, что материя по внутренней естественной необходимости должна перейти из первичного хаоса в мир, управляемый простыми законами. Этому тезису Бентли — Котса противоречила третья гипотеза Ньютона, она и была исключена. Но эта гипотеза у Ньютона не была случайностью. Ньютон много занимался алхимией, и учение о взаимном превращении элементов органически связано со всем его мировоззрением. Мы уже отмечали, что в мемуаре 1675 г. он высказывает мысль, что, «может быть, все вещи произошли от эфира».

Ньютон возвышается до представления о всеобщей превратимости форм движущейся материи, предвосхищая результаты современной физики атомных процессов. «Не обращаются ли большие тела и свет друг в друга и не могут ли тела получать значительную часть своей активности от частиц света, входящих в их состав? — спрашивает он в тридцатом вопросе «Оптики» и замечает, что «превращение тел в свет и света в тела соответствует ходу природы, которая как бы услаждается превращениями».

Атомизм Ньютона и его учение о массе и инерции.

Эта концепция Ньютона тесно связана с его атомизмом. «Бог вначале дал материи форму твёрдых, массивных, непроницаемых, подвижных частиц таких размеров и фигур и с такими свойствами и пропорциями в отношении к пространству, которые более всего подходили бы к той цели, для которой он создал их... Природа их должна быть постоянной, изменения телесных вещей должны проявляться только в различных разделениях и новых сочетаниях и движениях таких постоянных частиц...»

Неизменная природа этих частиц прежде всего характеризуется неизменностью их массы. Масса же частиц, в духе Декарта, пропорциональна объёму, материя однородна. Но «не все пространства заполнены в равной мере», и потому пустота существует. Доказательство этого важного положения Ньютон усматривает в неодинаковости удельных весов тел. А вес тела пропорционален его массе. Для ньютоновского определения массы этот закон имеет исключительное значение. «То, что качества материальных вещей не влияют на вес, установлено точнейшим образом... по равенству времён качаний маятника»¹. «Я произвёл такое испытание, — говорит Ньютон, — для золота, серебра, свинца, стекла, песка, обыкновенной соли, дерева, воды, пшеницы. Я заготовил две круглые деревянные кадочки, равные между собой; одну из них я заполнил деревом, в другой же я поместил такой же точно груз из золота (насколько мог точно) в центре качаний. Кадочки, подвешенные на равных нитях 11 футов длиною, образовали два маятника, совершенно одинаковых по весу, форме и сопротивлению воздуха; будучи помещены рядом, они при равных качаниях шли взад и вперёд в продолжение весьма долгого времени. Следовательно, количество вещества в золоте.. относилось к количеству вещества в дереве, как действие движущей силы на всё золото к её действию на всё дерево, т. е. как вес одного к весу другого. То же самое было и для прочих тел. Для тел одинакового веса разность количеств веществ (масс), даже меньшая одной тысячной доли полной массы, могла бы быть с ясностью обнаружена этими опытами».

Вес не может зависеть и от формы тел. Но отсюда в копейном счёте и получается, что вес тел определяется количеством частиц в данном теле, количеством вещества в нём. Этим фактом Ньютон и оправдывает своё определение массы.

Но как быть с инерцией тел? В какой связи она стоит с этой неизменной массой? Инерция, — утверждает Ньютон, — пропорциональна ей. «Я называю, — говорит Ньютон, оговоров предварительно существование пустоты, — одинаковой плотности такие тела, для коих сила инерции пропорциональна объёму». А значит, инертная масса и масса гравитационная друг другу пропорциональны.

Существенные свойства частиц. Сила и тяготение.

Этот вывод подводит Котса к важному пункту, а именно: тяготение (вес) является таким же существенным свойством тел, как инерция. Ньютон не разделяет этой точки зрения. В правиле III указано, какие свойства следует считать общими и простыми. К ним Ньютон относит, в первую очередь, протяжённость, «так как это свойство присуще всем телам, до-

¹ Во второй книге «Начал» (отдел VI) Ньютон устанавливает теорему XIX предл. XXIV, дающую основание такого способа. По этой теореме массы маятников, имеющих равные длины, относятся как произведение весов на квадраты периодов. Если написать формулу маятника в виде $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{p}}$, то отсюда легко получить теорему

$$\text{Ньютона: } \frac{m_1}{m_2} = \frac{P_1 T_1^2}{P_2 T_2^2}.$$

ступным чувствам», далее — твёрдость, непроницаемость и инертность. «Протяжённость, твёрдость, непроницаемость, подвижность и инертность целого происходят от протяжённости, твёрдости, непроницаемости, подвижности и инерции частей, отсюда мы заключаем, что все малейшие частицы всех тел протяжённые, твердые, непроницаемые, подвижны и обладают инерцией. Таково основание всей физики». Далее, говоря о тяготении, Ньютон приходит к выводу, что хотя тяготение присуще всем телам, однако «я отнюдь не утверждаю, что тяготение существенно для тел. Под врождённой силою я разумею единственно только силу инерции. Она неизменна. Тяжесть при удалении от Земли уменьшается». Свойства частиц материи, объявленные в физике Ньютона существенными и общими свойствами, не наделяют материю самодвижением, активностью. «*Vis inertiae*» (сила инерции) есть пассивный принцип, посредством которого тела пребывают в их движении или покое, получают движение, пропорциональное приложенной к ним силе, и сопротивляются настолько же, насколько сами встречают сопротивление. По одному этому принципу в мире еще не могло бы произойти движения. Был необходим некоторый иной принцип, чтобы привести тела в движение, и, раз они находятся в движении, требуется ещё один принцип для сохранения движения». Так представление о косной материи, неспособной к движению и изменению, приводит с необходимостью к идее знаменитого «первого толчка», к теологии. В этом пункте Ньютон солидаризуется с Бентли, утверждающим также необходимость первого толчка. Но Бентли настаивает дальше на том, что должно существовать активное надматериальное начало, одушевляющее материю, к каковому он причисляет тяготение на расстоянии. Ньютон такого категорического ответа не даёт, и вопрос об активных силах считает подлежащим физическому исследованию.

«Мне кажется далее, что эти частицы имеют не только *vis inertiae*, сопровождаемую теми пассивными законами движения, которые естественно получаются от этой силы, но также, что они движутся некоторыми активными началами, каково начало тяготения и начало, вызывающее брожение и сцепление тел. Я не рассматриваю эти начала как таинственные качества, предположительно вытекающие из особых форм вещей, но как общие законы природы, посредством которых образовались самые вещи; истина их ясна нам из явлений, хотя причины до сих пор не открыты. Ибо это явные качества, и только причины их тайны». Это не скрытые качества Аристотеля. Это общие, пока что только формальные принципы явлений. «... Вывести два или три общих начала движения из явлений и после этого изложить, каким образом свойства и действия всех телесных вещей вытекают из этих явных начал, — было бы очень важным шагом в философии, хотя бы причины этих начал и не были еще открыты. Поэтому я, не сомневаясь, предлагаю принципы движения, указанные выше, имеющие весьма общее значение, и оставляю причины их для дальнейшего исследования».

Ясно отличие позиции Ньютона от позиции Бентли — Котса. Последние накладывают категорическое табу на исследование принципов движения. Существует иррациональное, непознаваемое тяготение, раскрыть природу которого научными методами нельзя. Надо только описывать, как совершаются явления по этим началам, и преклоняться перед мудростью творца. Ньютон видел трудности, связанные с последовательным проведением картезианской программы, и поэтому не счёл возможным исключить пока силы как формальные причины. Но формальный математический характер этих причин он не устал подчеркивать. «Под словом «притяжение», — говорит он в вступлении к отделу XI «Начал», — я разумею вообще какое бы

то ни было стремление тел к взаимному сближению, происходит ли это стремление от действия самих тел, которые или стараются приблизиться друг к другу, или которые приводят друг друга в движение посредством испускаемого эфира, или это стремление вызывается эфиром или воздухом, или вообще какою-либо средою, материальною или нематериальною, заставляющей погружённые в неё тела приводить друг друга в движение. В этом же смысле я употребляю и слово «натиск» или «напор», исследуя в этом сочинении не виды сил и физические свойства их, а лишь их величины и математические соотношения между ними, как объяснено в определениях. Математическому исследованию подлежат величины сил и те соотношения, которые следуют из произвольно поставленных условий. Затем, обращаясь к физике, надо эти выводы сопоставить с совершающимися явлениями, чтобы распознать, какие же условия относительно сил соответствуют отдельным видам обладающих притягательною способностью тел. После того как это сделано, можно будет с большою уверенностью рассуждать о родах сил, их причинах и физических между ними соотношениях.

«До сих пор я изыскивал небесные явления и приливы наших морей на основании силы тяготения, — говорит он в знаменитом «Общем изложении», заключающем третью книгу «Начал», — но я не указывал причины самого тяготения». «Причину... я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю».

Эфир
и молекулярная
физика.

Следовательно, Ньютон оставляет вопрос о природе тяготения открытым, ввиду недостаточности фактического материала. Но он совершенно не склонен приостановить действие на расстоянии, как это сделали

ньютонианцы. Именно в этом духе он и отвечает на письмо Бентли. Вот этот знаменитый ответ Ньютона:

«Нельзя представить себе, каким образом неодушевлённое грубое вещество могло бы — без посредства чего-либо постороннего, которое нематериально, — действовать на другое вещество иначе, как при взаимном прикосновении. А так должно бы быть, если бы тяготение было, в смысле Эпикура, присуще материи. Допустить, что тяготение врождённо материи, присуще ей так, что одно тело должно действовать на расстоянии через вакуум на другое без посредства чего-либо постороннего, помощью которого действие и сила от одного тела проводится к другому, есть для меня такая нелепость, что полагаю, в неё не впадёт ни один человек. способный к мышлению о философских вещах. Тяготение должно причиняться некоторым деятелем, действующим согласно определённым законам. Какой это деятель — материальный или нематериальный, — я представил равному мышлению читателя».

Для Ньютона было ясно отличие этого деятеля от обычной материи, и в этом смысле он может быть назван нематериальным. Но он должен существовать и действовать по определённым законам, и потому он материален в философском смысле. Это может быть тончайший эфир, о котором Ньютон говорит в заключительном абзце «Начал»:

«Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем все сплошные тела и в них содержащемся, коего силою и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, укло-

¹ Ньютон уже наблюдал электрическое отталкивание. Ему принадлежит известный опыт с «электрической пляской».

ляется и нагревает тела, возбуждается всякое чувствование, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниям этого эфира от внешних органов чувств мозгу, от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими законы действия этого эфира были бы точно определены и показаны».

Так Ньютон заключает «Начала» наброском картезианской картины мирового эфира, обуславливающего все взаимодействия тел, исключая и жизненные проявления. Грандиозность этой программы особенно ощутительна по сравнению с ничтожным запасом фактических сведений о взаимодействиях частиц. «Я не знаю, что такое этот эфир», — восклицает в отчаянии Ньютон в «Оптике». Поэтому параллельно этой грандиозной программе он разгёргивает программу, основанную на формальном допущении элементарного дальнего действия между частицами, предвосхищая с удивительной прозорливостью выводы современной молекулярно-атомной теории. Эта программа сформулирована им в XXXI вопросе «Оптики».

«Не обладают ли малые частицы тел определёнными возможностями, способностями или силами, при посредстве коих они действуют на расстоянии не только на лучи света при отражении, преломлении и огибании их, но также друг на друга, производя при этом значительную часть явлений природы? Ибо хорошо известно, что тела действуют друг на друга при помощи притяжения тяготения, магнетизма и электричества; эти примеры показывают тенденцию и ход природы и делают вероятным существование других притягательных сил, кроме этих. Ибо природа весьма согласна и подобна в себе самой»¹ «Я не разбираю здесь, каким образом эти притяжения могут осуществляться. То, что я называю притяжением, может происходить посредством импульса или какими-нибудь другими способами, мне неизвестными»². Я применяю здесь это слово для того, чтобы только вообще обозначить некоторую силу, благодаря которой тела стремятся друг к другу, какова бы ни была причина. Ибо мы должны изучить по явлениям природы, какие тела притягиваются и каковы законы и свойства притяжения, прежде чем исследовать причину, благодаря которой притяжение происходит. Притяжения тяготения, магнетизма и электричества простираются на весьма заметные расстояния и, таким образом, наблюдались просто глазами, но могут существовать и другие притяжения, простирающиеся на столь малые расстояния, которые до сих пор ускользают от наблюдения, и, может быть, электрическое притяжение распространяется на такие малые расстояния и без возбуждения трением».

Эта замечательная гипотеза между частичных сил не является у Ньютона спекулятивной догадкой, он апеллирует к химическим фактам, к явлениям растворения, сцепления частиц, капиллярности. Сцепляясь молекулярными силами в тела, частицы, в зависимости от характера взаимодействий, определяют и физические свойства тела. Элементарные взаимодействия имеют полярный характер притягательных и отталкивательных, которые могут переходить друг в друга.

«Поскольку металлы, растворённые в кислотах, притягивают небольшое количество кислоты, постольку их притягательная сила может простираться на малое расстояние от них. И так же как в алгебре, там, где исчезают и прекращаются положительные количества, начинаются отри-

¹ Этот тезис, утверждающий единство материального мира, Ньютон высказывает неоднократно. Он органически связан с «Правилем I» о простоте в природе.

² Ньютон снова настаивает на временном, относительном, формальном характере вводимых им сил дальнего действия.

цательные, так и в механике, — там, где прекращается притяжение, должна заступать отталкивательная способность».

Эту мысль впоследствии развивает Бескорич, а ещё позднее она воплотится в молекулярной физике твёрдых тел. Характерно, что Ньютон, размышляя о свойствах исландского шпата, приходит к основной идее физики твёрдого тела — идее кристаллической решётки. «Частицы исландского кристалла действуют на лучи все в одном направлении, вызывая необыкновенное преломление; поэтому нельзя ли предположить, что при образовании этого кристалла частицы не только установились в строй и в ряды, застывая в правильных фигурах, но также посредством некоторой полярной способности повернули свои одинаковые стороны в одинаковом направлении».

Метод Ньютона и
его отношение
к гипотезам

Замечательный очерк молекулярной теории вещества, набросанный здесь Ньютоном, дополняется включением в эту картину и оптики. «Все тела, повидимому, составлены из твёрдых частиц. Даже лучи света, повидимому, твёрдые тела, ибо иначе они не удерживали бы различных свойств по различным сторонам». Если добавить к этому сочувственное отношение Ньютона к идее Кеплера об отталкивании лучами Солнца кометных хвостов, идею, которую так замечательно обосновал Лебедев в классических работах по давлению света, и его воззрения на теплоту («теплота есть колебание частиц друг около друга»), то перед нами встаёт во весь рост фигура мастера широких гипотетических построений, не уступающих по широте замысла построениям Декарта, но обоснованных физически глубже и продуманнее, чем картезианские. Мастерство Ньютона в построении гипотез видно из оптического мемуара 1675 г., где он излагает разобранную нами выше синтетическую корпускулярно-волновую теорию света, и в его попытке объяснить цвета тел и голубой цвет неба, исходя из наблюдений цветов тонких пластинок. И всё же остаётся фактом крайнее осторожное отношение Ньютона к гипотезам, неустанное подчёркивание своего индуктивно-эмпирического метода, превознесённого ньютонианцами и приведшего к возникновению феноменологической ньютонианской физики. В чём причины этого обстоятельства? Их, на наш взгляд, следует искать прежде всего в особенностях ньютоновского периода естествознания и затем в личности самого автора «Начал».

В самом деле, был ли фактический материал, накопленный естествознанием ко времени Ньютона, достаточным для широких синтетических построений? Нет, конечно. При изучении механического движения надо было прежде всего решить основную аналитическую задачу: что относится к самому движущемуся телу и что относится к воздействующему на него другому телу. Приняться за исследование механизма взаимодействия тел (молекулярная теория удара, давление, теория тяготения) — означало уйти в область спекуляции и затормозить дело изучения движения. Ньютон и решил пойти по единственно надёжному пути для того времени — пути индукции.

Мог ли Ньютон ограничиться домыслами о природе света при скудных фактических сведениях о явлениях физической оптики? Нет, Ньютон предпочёл покинуть область спекулятивных гипотез и исследовать свойства света экспериментально, чтобы прийти к надёжным принципам. Прежде чем прийти к широким синтетическим обобщениям, надо было пройти путь анализа и индукции.

«Как в математике, так и в натуральной философии исследование трудных предметов методом анализа всегда должно предшествовать методу соединения. Такой анализ состоит в производстве опытов и наблюдений,

извлечении общих заключений из них посредством индукции и недопущении иных возражений против заключений, кроме полученных из опыта или других достоверных истин. Ибо гипотезы не должны рассматриваться в экспериментальной философии. И хотя аргументация на основании опытов и наблюдений посредством индукции не является доказательством общих заключений, однако это лучший путь аргументации, допускаемый природой вещей, и может считаться тем более сильным, чем общее индукция. Если нет исключения в явлениях, заключение может объявляться общим. Но если когда-нибудь после будет найдено исключение из опытов, то заключение должно высказываться с указанием найденных исключений. Путём такого анализа мы можем переходить от соединений к ингредиентам, от движений к силам, их производящим, и вообще от действий к их признакам, от частных причин к более общим, пока аргумент не закончится наиболее общей причиной. Таков метод анализа, синтез же предполагает причины открытыми и установленными в качестве принципов; он состоит в объяснении при помощи принципов явлений, происходящих от них, и доказательстве объяснений».

Ньютон, как никто другой из современников, оценил справедливость замечаний Бэкона о необходимости придать разуму свинец, чтобы сдерживать его полёт в область отвлечённых спекуляций. Он сознавал, что фундамент естествознания должен быть заложен прочно, и сдерживал всей своей волей орлиный полёт своего мощного ума. Этому была и другая причина личного характера.

Обстоятельства жизни развили у Ньютона рано привычку к самоутруждению, к не любви раскрываться перед другими. А потом он увидел, сколь небезопасно выступать с философскими высказываниями в его бурное и опасное время. Отсюда и его осторожность в опубликовании своих открытий. Открыв до 1665 г. свой метод разложения в ряды, основанный на обобщённой формуле бинома, и метод флюксий, он хранил его в тайне до конца 1668 г., когда появилась «Логарифмотехника» Меркатора, где последний дал пример квадратуры гиперболы методом разложения в бесконечный ряд. Только тогда Ньютон ознакомил Барроу, а затем и Коллинса со своим открытием.

Более одиннадцать лет работал он над проблемой тяготения и только в 1686 г. показал Галлею, при запросе его, рукопись своей «Теории движения», содержащую первые две части «Начал»; его «Оптика» вышла в свет только в 1704 г. Мы уже приводили выдержки из писем Ньютона, характеризующие его отношение к философским дискуссиям.

И ещё одно обстоятельство — религиозность Ньютона. Ньютон очень хорошо понимал последовательно материалистический дух физики Декарта, в которой бог является случайным и ненужным по существу приложением. Этим можно объяснить нерасположение Ньютона к Декарту, доходящее до прямой несправедливости в отношении последнего¹. Ньютон боялся развивать свои обобщения до прямых материалистических выводов и не препятствовал своим последователям делать из его теории крайние идеалистические выводы. Он любил теории, и с каким наслаждением и остроумием он придумывает в вопросах «Оптики» разнообразные гипотетические построения! Он возвышался — и мы уже приводили примеры этого — до выводов, выходящих из круга метафизических представлений тогдашней натурфилософии. Муж его племянницы, Кондуит, приводит характерный разговор с ним Ньютона в 1725 г. о комете 1680 г. В этом раз-

¹ Например Ньютон полагает автором теории радуги Доминиса, сведя роль Декарта к исправлениям теории Доминиса.

говоре Ньютон развивает мысль о возможности революционных катастроф во вселенной. На вопрос Кондуита, исчезнет ли жизнь во вселенной навсегда, Ньютон отвечает, что она может возродиться, так как на других планетах могут быть условия, подходящие к земным.

Эти сложные и противоречивые воззрения Ньютона вместе с его крайне неопределённой позицией в философских спорах создавали и продолжают создавать серьёзные затруднения в оценке Ньютона. Дело осложняется ещё и тем, что имеются факты, если можно так выразиться, «засекречивания» того,

кого соотечественники называли «украшением рода человеческого». Существует традиционная трактовка образа Ньютона, в которой Ньютон представляется человеком, всецело погружённым в свои мысли, далёким от всех житейских тревожений, отрешённым от всего земного. Но можно ли верить этому каноническому образу, если имеется письмо Ньютона Астону¹, которое скорее можно принять за инструкцию начальника разведки своему агенту, чем за письмо «аполитичного философа». Ведь остаётся фактом и то, что Ньютон выставлял второй раз свою кандидатуру в парламент, и то, что он добивался места в Монетном дворе. Всё это, равно как и деятельность Ньютона в качестве директора Монетного двора, плохо вяжется с традиционным обликом. То обстоятельство, что Портсмутская коллекция остаётся неопубликованной, что архив Монетного двора эпохи Ньютона не опубликован, затрудняет задачу воссоздания подлинного образа великого учёного.

Важное место в оценке Ньютона занимает вопрос: «был

ли Ньютон ньютономцем?» Иначе, делал ли он из своих открытий, к которым он приходил несомненно материалистическим путём, реакционные выводы или нет? В 1937 г. были опубликованы дневники Грегори, в которых, между прочим, находится следующая запись, сделанная 21 декабря 1705 г.:

«Сэр Исаак Ньютон был со мной и сказал, что он приготовил 7 страниц добавлений к своей книге о свете и цветах (т. е. к «Оптике») в новом латинском издании. У него были сомнения, может ли он выразить послед-



Рис. 125. Фронтиспис книги Вольтера «Элементы философии Ньютона».

¹ Это письмо приведено полностью в книге акад. С. И. Вавилова, Исаак Ньютон, 2-е изд., 1945, стр. 24—27.

ний вопрос так: «Чем наполнено пространство, свободное от тел?» Полная истина в том, что он верит в вездесущее божество в буквальном смысле. Так же, как мы чувствуем предметы, когда изображения их доходят до мозга, так и бог должен чувствовать всякую вещь, всегда присутствуя при ней. Он полагает, что бог присутствует в пространстве, как свободном от тел, так и там, где тела присутствуют. Но, считая, что такая формулировка слишком груба, он думает написать так: «Какую причину тяготения приписывали древние?» Он думает, что древние считали причиной бога, а не какое-либо тело, ибо всякое тело само по себе тяжёлое»¹.

Надо сказать, что три ипостаси ньютонианства: надматериальные пространство и время и нематериальная движущая сила, давно уже нашли

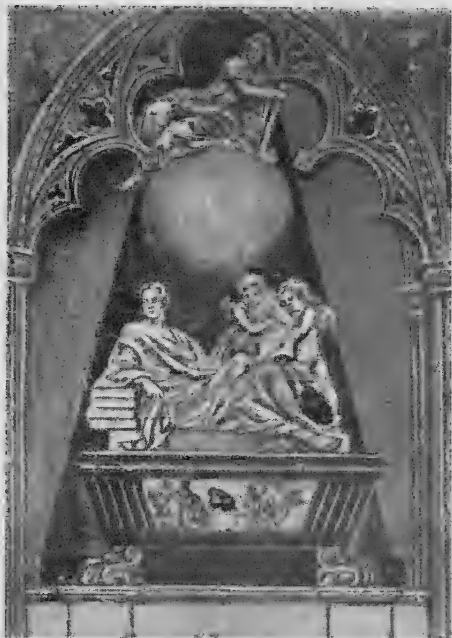


Рис. 125а. Памятник Ньютону.

¹ См. С. М. В а в и л о в, Исаак Ньютон, 1945, стр. 148.

свое законченное поэтическое выражение в известной оде Державина «Бог», начинающейся следующими строками:

*«О ты, пространством бесконечный
Живый в движении вещества,
Теченьем времени пресечный,
Без лиц, в трёх лицах божества».*

Этот Державинский и Ньютоновский бог несомненно ближе к богу Спинозы, чем к мистическому богу религии. Спиноза называл богом природу, и амстердамские раввины были, конечно, правы, обвинив его в атеизме. Суть дела в том, что чистая механика не в состоянии обеспечить «беспрерывной жизни в движении вещества», а отрыв пространства и времени от материи ещё более усложняет дело. Если сводить природу к механике, как это и думали сделать Декарт и Ньютон, то должно ввести не механическое, а потому с точки зрения материализма XVII—XVIII вв. «нематериальное» начало — бога. Но бог у Ньютона играет незавидную роль часовщика мира и обитателя пустого пространства, притом такого обитателя, который бы не оказывал сопротивления движущимся телам, т. е. очень покладистого обитателя. Поистине прав Энгельс, говоря, что «с богом никто не обращается хуже, чем верующие в него естествоиспытатели»¹.

«В истории современного естествознания, — говорит Энгельс, — защитники бога обращаются с ним так, как обращались с Фридрихом-Вильгельмом III во время пенской кампании его генералы и чиновники. Одна армейская часть за другой складывает оружие, одна крепость за другой капитулирует перед натиском науки, пока, наконец, вся бескопечная область природы не оказывается завоёванной знанием и в ней не остаётся больше места для творца»².

Благодаря Ньютону, под натиском науки пала могучая крепость — была открыта система мира. Вопрос стоял о дальнейшем продвижении науки. Ньютоналисты считали необходимым закрепить позиции теологии, не допускать дальнейшего продвижения науки, сохранить в природе и первый толчок, и божественное тяготение. Ньютон в силу своего классового положения был проникнут духом компромисса 1688 г. и занял промежуточную, колеблющуюся позицию между теологией и наукой. И, как обычно в таких случаях, реакционная философия использовала это колебание в своих интересах, в то время как передовые деятели науки правильно поняли и развивали дальше достижения ньютоновской физики. Натуральная философия Ньютона питала свободомыслие Вольтера и атеизм французских материалистов. Фарадей называл себя философом и любил цитировать известное письмо Ньютона к Бенгли, отбрасывая последнюю фразу о возможной нематериальности агента тяготения как непонятную. А Ломоносов прямо заявил, что «Невтон притягательных сил не признавал при жизни» и сделался их «рачителем» после смерти усилиями своих учеников. Ломоносов возглавил борьбу против эпигонов ньютонализма и создал величественную корпускулярно-эфирную философию, в которой предвосхищались будущие успехи химической атомистики, кинетической теории материи и фарадеевской физики эфира.

¹ Энгельс, Диалектика природы, ОГИЗ, 1948, стр. 160

² Там же, стр. 160.

ФИЗИКА XVIII в. ЛОМОНОСОВ

Периодизация
посленьютоновской
физики.

В развитии физики после Ньютона отчётливо выступают два основных этапа: период классической физики, охватывающей XVIII и XIX вв., и период современной физики — физики XX в. Но это подразделение —

целиком, впрочем, отвечающее подразделениям социальной истории, ибо начало XX в. определяет вступление Европы и Америки в фазу империализма и пролетарской революции — является только основным и приближенным. Ведь и в так называемой классической физике мы находим немало идей, получивших своё развитие в современном этапе, и целый ряд отраслей современной физики является продолжением классической физики. Но самое главное, что темпы исторического процесса в эпоху капитализма вообще необычайно ускоряются, и в частности темпы развития науки. Если в прошлом этапе, так сказать «предисторическом» этапе развития физики, интервалы между фундаментальной или даже сколь-нибудь существенной сменой идей измерялись веками, то теперь десятилетия вносят коренные изменения и в общий исторический процесс и в процесс развития науки. Поэтому вполне понятной становится потребность в более подробной детализации исторического процесса, в более «тонкой» периодизации. И здесь, как и во всей истории, основой является развитие производства и производственных отношений.

Новый период в истории открывается французской буржуазной революцией, расчленившей путь победоносному шествию капитализма в Европе и Америке. Ему предшествует период зарождения промышленного капитализма, эпоха первоначального накопления.

Промышленный переворот в Англии и американская война за независимость, прозвучавшая по выражению Маркса «набатным колоколом для европейской буржуазии»¹, представляют собой важнейшие события этого периода, подготовившего победу капитализма в передовых странах.

Французская революция сделала уже невозможным возврат к феодальным порядкам во Франции. Наполеоновские войны служили делу буржуазии и расшатывали феодальные порядки в европейских странах. Прокатывается волна буржуазных революций, и даже в далёкой крепостнической России произошло декабрьское восстание 1825 г. Революции 1848 г., породившие волну реакционных выступлений против рабочего класса, завершили дело победы капитализма в Европе, а после крестьянской реформы в 1861 г. царская Россия вступила бесповоротно на капиталистический путь.

¹ Маркс и Энгельс, Соч., т. XVII, стр. 7.

Но те же революции 1848 года показали, что внутри капиталистического общества зреют силы, которым надлежит похоронить это общество. II Парижская Коммуна 1871 г. возвестила о грядущей гибели капиталистической системы.

Кризисы, нарастание противоречий характеризуют последнюю треть XIX в.; капитализм вступает в свою высшую и последнюю фазу — фазу империализма.

В истории физики этот переход от эпохи растущего капитализма к эпохе загнивающего капитализма отмечается двумя крупными вехами. Это, во-первых, открытие Менделеевым периодического закона, возвестившего о рождении новой атомистики; во-вторых, появление и развитие максвелловской физики — физики поля. Этими событиями и открывается новый период — переходный период от классической физики к физике современной. Если первый период в истории нового естествознания открывается Коперником и Галилеем и заканчивается Ньютоном, то второй период открывается Ломоносовым и заканчивается Менделеевым и Максвеллом.

Историю делают люди, историю науки — в особенности. Хотя прогресс науки осуществляется усилиями коллектива деятелей, порой совершенно незаметных, хотя бывает и так, что новые пути в науке прокладывают весьма скромные люди, хотя в научном процессе огромную роль играет масса изобретателей и техников, тем не менее роль отдельных выдающихся учёных чрезвычайно велика — они формулируют и ставят основные задачи момента. По меткому сравнению акад. С. И. Вавилова, выдающиеся учёные — это вершины, поднявшись на которые, мы сможем обозреть и спланировать путь на новом этапе. Поэтому вполне уместной является тенденция связывать те или иные этапы в развитии науки с именами отдельных учёных. Разумеется, для того чтобы эта тенденция была оправдана, этап должен быть связан с именем такого деятеля, который не только наиболее глубоко проник в задачи сегодняшнего дня, но и является источником идей, определяющих завтрашний день науки.

Таковыми деятелями были Ньютон и Декарт, такими деятелями в новой физике являются Ломоносов, Фарадей, Максвелл и Гельмгольц.

Здесь необходимо сделать одно замечание. Прежде всего связь первого этапа с именем Ломоносова как ведущего деятеля эпохи может вызвать возражения. С чисто хронологической точки зрения деятельность Ломоносова ограничена интервалом 40—60-е годы, причём последние годы Ломоносов занимается главным образом научно-организационной работой, историей, языком. Рассматриваемый период — это период усиленных эмпирических исканий в области электростатики и теплоты, период развития аналитических методов в физике, в первую очередь в механике, и, наконец, период духовной гегемонии французских просветителей и материалистов. Тщательное изучение работ Ломоносова в области физики и химии, проведённое в наше время, открыло нам совершенно новое понимание роли Ломоносова в мировой науке. В научной деятельности Ломоносова сочетается глубокое понимание насущных задач его эпохи с программными высказываниями, предвосхищающими научные достижения будущего. Ломоносов откликается на все животрепещущие проблемы своего времени и как экспериментатор, и как теоретик.

Оптика и теплота, электричество и тяготение, метеорология и атомистика — все вопросы, волновавшие его современников, волновали и его. Но если в современной ему эпохе доминировали узкий эмпиризм, ограниченность и метафизичность теоретических концепций, то гений Ломоносова охватывал эти проблемы во всей их широте и поднимался до глубо-

ных теоретических обобщений, идущих против течения, но вскрывающих то живое зерно развития, которое восприняла наука XIX в.

Ломоносов несомненно олицетворяет собой наиболее прогрессивный и боевой дух науки своего времени. Оценка его работ знаменитым Эйлером, полагавшим, что эти работы могут служить украшением любой академии, несомненно оправдана. Вот почему мы с полным правом связываем первый этап посленьютоновской физики с именем Ломоносова.

**Технический
прогресс.**

Приступая к обзору первого этапа развития посленьютоновской физики, мы должны вкратце остановиться на тех изменениях в общественной жизни, которые не могли не вызвать и действительно вызвали новые запросы к физике.

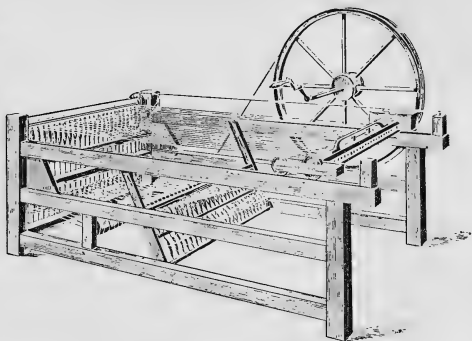


Рис. 126. Прядильная машина «Дженина».

Развитие торговли в связи с открытием новых рынков, с появлением в Европе новых колониальных товаров, и среди них хлопка, в корне перетряхнуло старое цеховое производство с его узкими рамками, с его крайне низкими темпами. Увеличение производства шло по линии разделения труда, а затем по линии технического усовершенствования орудий труда. XVIII век — век зарождения капиталистической индустрии, век технических изобретений революционизирующего значения.

Родиной этих изобретений явилась классическая страна капитализма — Англия, победившая к концу XVII в. своих соперников — Испанию и Нидерланды и осуществившая буржуазную революцию.

Изобретения возникли в новой отрасли промышленности, вызванной к жизни колониальной торговлей, — в хлопчатобумажной промышленности. Интенсивно развиваясь, несмотря на противодействие сукноделов и запретительные акты парламента, она стала очагом промышленного переворота. Как известно, текстильная промышленность складывается из двух элементов — прядения и ткачества. Ручная прядка и ручной ткацкий станок — древнейшие орудия этой отрасли производства. Процесс ткачества более быстрый, чем процесс прядения, и при старом способе производства один ткач перерабатывал продукцию 4—5—6 прядильщиц. Ясно, что такое положение вещей приводило к диспропорции в производстве, пряжи сплошь и рядом не хватало.

Эта диспропорция ещё более возросла, когда Кэй в 1733 г. изобрёл челнок-самолёт. Челнок, перебрасывавшийся до этого изобретения вручную, теперь перебрасывался автоматически особыми ракетками. Это давало возможность увеличивать ширину полотна и увеличить скорость ткачества. Но это и привело к необходимости повысить скорость прядения. Актуальность задачи возрастала ещё и потому, что качество хлопчатобумажной пряжи отечественного производства сильно уступало индусской, а ввоз индусских и других восточных тканей был запрещён парламентским актом 1709 г.

Первая машина, возвестившая о начале промышленной революции, была машина Уайатта (Wyatt) и Пауля — вытяжные валики, с помощью которых нить без помощи человеческих пальцев вытягивалась и скручивалась. По словам сына Уайатта, впервые в 1733 г. его отцу удалось выпрясть без помощи пальцев нить в два фута длиной. Патент на машину был взят Льюисом Паулем, который в 1738 г. внёс некоторые улучшения в конструкцию машины Уайатта. Однако в суконной промышленности в то время ещё не ощущалось такого спроса на машину, и дело изобретателей заглохло.

Только через тридцать лет возобновились попытки механизировать прядение. Результатом этих попыток явилось почти одновременное изобретение прядильных машин: «Дженни» — Джемсом Харгривсом в 1767 г., (патент взят в 1770 г.) (рис. 125) и «Water frame»¹ — Хайсом, в том же 1767 г.

Машина Харгривса была несложной, её использовали и ремесленники. Сам Харгривс не был предпринимателем и хотя и не умер в нищете, всё же и не нажил богатства от своего изобретения. Иная судьба ожидала машину Хайса. Его изобретением воспользовался ловкий делец парикмахер Ричард Аркрайт. Он построил первую машину при содействии часовщика Кэй (однофамильца изобретателя челнока-самолёта), работавшего в 1768 г. у Хайса, а в 1769 г. взял на неё патент. Аркрайт сумел достать необходимые капиталы и в 1771 г. построил механическую прядильню в Кромфорде, близ Дерби. В 1779 г. Кромфордская прядильня насчитывала уже несколько тысяч веретён, и на ней работало свыше 300 рабочих. Аркрайт организовывал предприятие за предприятием. Этот делец был предметом восхваления господствующих кругов капиталистической Англии. Его сравнивали с Наполеоном и Ньютоном, а министр Роберт Пилль называл его, «человек, более чем кто-либо сделавший честь стране»².

На примере капиталиста Аркрайта лакеи и идеологи капитализма, пришедшего уже на первых своих шагах неслыханные бедствия, обнищание и вымирание тысячам разорённых ремесленников и земледельцев, обосновывали теорию «социального отбора», по которой капитализм якобы выдвигает наиболее одарённых и обрекает на вымирание «подонки общества». Маркс разоблачил эту звериную, человеконенавистническую теорию и вскрыл роль насилия в первоначальном накоплении. Дельцы типа Аркрайта только подтверждают, что в капиталистическом обществе личное обогащение проистекает из крайне мутных источников.

Механизация текстильной промышленности была завершена двумя изобретениями: «мюлем» Кромптона (1774—1779), в которой сочетался принцип «каретки» Харгривса с вытяжными валиками ватерной машины, и механическим ткацким станком Карпайта (1785). Началась эпоха капиталистической индустрии.

¹ Water frame — буквально «водяная машина», прототип современной ватерной машины.

² М а н т у, Промышленная революция в Англии в XVIII в., Соцэкгиз, 1937, стр. 190, примечание 4.

Первые машины изготавливались из дерева плотниками и столярами, работали они медленно, поэтому изнашиваемость частей не была большой. Но повышение скорости работы машин и требования, предъявляемые к прочности и надёжности их работы, обусловили замену материала сначала ответственных частей, а затем и всей машины — железом. Между тем выработка железа в Англии к началу XVIII в. сильно сократилась, и потребность страны в железе покрывалась импортом железа из Швеции и России¹. Причиной было истощение лесов в Англии. Выплавлять чугун на каменном угле не умели, а выплавка на древесном угле требовала огромной массы дерева. Поэтому уже в XVII в. начались поиски способов выплавки чугуна на каменном угле (Доддлей). Впервые это удалось сделать в 1735 г. Аврааму Дерби-второму. Благодаря этому способу стало возможным получать большое количество чугуна. Но тогда сейчас же встал вопрос о способах превращения чугуна в ковкое железо, используя тот же каменный уголь.

Первые обнадеживающие результаты в этом направлении были получены Джеском Робесом в 1762 г. и в 1766 г. рабочими Томасом и Джорджем Карнеджем. Химические процессы металлургии железа в то время были неизвестны, реакция окисления ещё не была открыта, и поэтому результаты получались эмпирически, наощупь.

В конце концов процесс пудингования был открыт независимо друг от друга Петром Онопиевым (патент 7 мая 1783 г.), мастером Тлдовильского завода Мертиром и поставщиком адмиралтейства Гепри Кортон (патент 13 февраля 1784 г.). Мертир не смог продвинуть своего изобретения, Кортон это удалось сделать, и, несмотря на лично несчастливую судьбу изобретателя, его способ быстро вошёл в употребление. Существенным техническим нововведением Корта была прокатка крицы² на вальцах; до того крицу обрабатывали ударами молота. В результате применения метода Корта производство полосового железа на одном из заводов возросло с 10 *m* в неделю до 200.

Сталелитейная промышленность развернулась позднее, но уже в 1750 г. часовщику Генсману удалось открыть способ получения литой стали в тиглях (так называемая тигельная сталь).

Применение каменного угля в чёрной металлургии имело исключительное значение. Железоделательная промышленность — эта основа современной индустрии — стала развиваться быстрыми темпами. Первое применение каменный уголь получил на Кольбрукдельских заводах династии Дерби. К 1784 г. зять Авраама Дерби-второго Ричард Рейнольдс уже имел около Кольбруделя 8 доменных печей и 9 железоделательных заводов. За 80 лет, с 1717 г. до конца столетия, производство железа на заводах Дерби выросло с 500—600 *m* в год до 13—14 тыс. *m*. Быстро преуспевал и второй железозаводчик Джон Вильксон, поставивший первую домну в Брадлее в 1754 г. и превратившийся к концу века в «железного короля», чеканившего в своих владениях собственную монету.

Вполне понятно, что растущая металлургическая промышленность требовала и изменения ручных способов обработки металла. Появились сверлильные машины, токарные станки с передвижным суппортом

¹ Таким образом, Россия сыграла существенную роль в промышленной революции в Англии. Подробнее см. В. В. Д а н и л е в с к и й, Русская техника, 1947.

² Крица — губчатая масса железа, получающаяся при переделке чугуна в железо в кричном горне. Чугун, плавясь на угле вместе с шлаками, терял избыток углерода, кремний и марганец и после длительного проваривания в горне и окисления превращался в крицу. Крицу обжимали кричными молотами (отсюда и название кричных фабрик «молотовая фабрика») с целью удаления остатков шлака.

(А. К. Нартов 1718—1729, Генри Маудслей, 1797 г.). Тот же Маудслей изобрёл випторезную машину.

По каменноугольная промышленность и вновь возникавшая текстильная индустрия, а также металлургическая промышленность с её воздуходувками, молотами и вальцами нуждались в движущей силе. Проблема откачки воды из шахт стояла особенно остро, и именно здесь впервые была применена «движущая сила огня».

Первая практически действующая водоподъёмная машина принадлежала Сэвери. Описание её было опубликовано в 1696 г., патент взят в 1698 г. На рисунке 127 дана схема устройства машины Сэвери. Пар из котла K по-

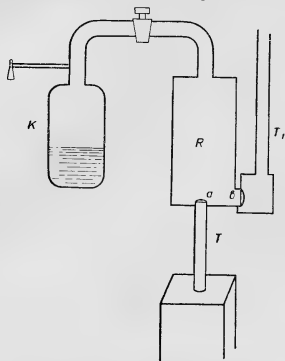


Рис. 127. Схема машины Сэвери.

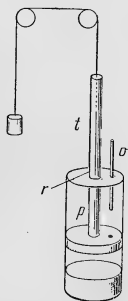


Рис. 128. Принцип устройства цилиндра Папина.

ступает в резервуар R при закрытом клапане b выводной трубы T_1 . Разобрав резервуар от котла, его охлаждают холодной водой, вследствие чего давление в нём падает, и атмосферное давление гонит по трубке T воду в резервуар. Затем, после установления сообщения резервуара с котлом, пар, поступающий из котла, будет вытеснять воду по трубке T_1 .

Машина Сэвери — собственно ещё не машина. В ней нет движущихся частей, кроме клапанов. Бóльший теоретический интерес представляет идея Папина (рис. 128). Пар, образовавшийся в цилиндре, поднимает поршень с грузом. Когда поршень достигает наивысшего положения, цилиндр падает и поршень опускается. Папин продолжал развивать свою идею и в 1707 г. описал новую машину (рис. 129). В этой машине пар давит на поршень сверху и последний, опускаясь, вытесняет находившуюся под ним воду в резервуар с отводной трубкой. По достижении поршнем наивысшего положения цилиндр отключался от котла, и в его верхней части открывался кран, устанавливающий сообщение цилиндра с атмосферой. В этот момент вода из резервуара, уровень которой был выше наивысшего положения поршня, открывала клапан в сторону цилиндра и, поднимая поршень, возвращала его в исходное положение. Это был первый принцип

машины высокого давления. Тому же Папину принадлежит конструкция первой лодки с паровым двигателем, разбитой судовладельцами Кассели. Его котёл с предохранительным клапаном долгое время составлял принадлежность физических кабинетов школ.

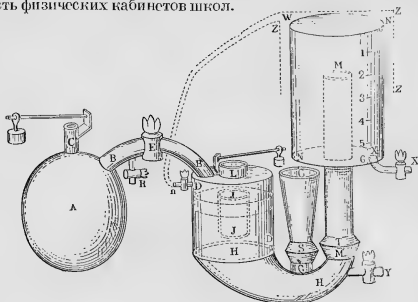


Рис. 129. Машина Папина.

Более практичной, чем машина Сэвери, оказалась машина Ньюкомена. Слесарь и кузнец Н ь ю к о м е н построил свою машину в сотрудничестве со стеклоделом Колли в 1705—1706 гг. Принцип машины таков (рис. 130). Пар, поступивший из котла в цилиндр, отключается от котла краном. Цилиндр обливается холодной водой, пар конденсируется, и давление атмосферы, преодолевая сопротивление противовеса балансира, совершает работу откачки воды насосом. Затем снова устанавливается сообщение цилиндра с котлом, и пар помогает противовесу вернуть поршень в исходное положение.

В 1711 г. образовалась компания для эксплуатации машины Ньюкомена. Машина получила в дальнейшем ряд усовершенствований: обливание цилиндра было заменено распыскиванием воды внутрь, ручное открывание и закрывание кранов было заменено автоматическим (как говорят, это изобретение было внесено обслуживающим машину мальчиком Поттером). Во всяком случае в 1718 г. Герни Б р а й т о н построил машину с автоматическим регулированием, котёл которой был снабжён *предохранительным клапаном*.

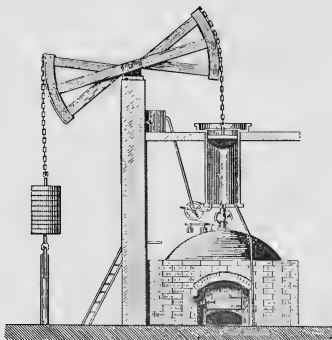


Рис. 130. Машина Ньюкомена.

Машины Ньюкомена быстро получили всеобщее распространение. Например, в 1767 г. в одном Ньюкестле (угольном районе) их насчитывалось около 70. Они применялись не только в рудниках, но и в системе водоснабжения, в гидротехнических сооружениях. Лондонская машина 1720 г., предназначенная для снабжения города водой Темзы, имела котёл объёмом около 17 м³, цилиндр диаметром свыше 80 см и высотой 3 м.

Ньюкоменовские машины имели существенные недостатки: крайне низкую экономичность и ограниченную область применения. Растущая индустрия требовала универсального экономического двигателя, способного заменить силу воды. Локализация новых фабрик и заводов определялась близостью источников водной энергии, и это, разумеется, причиняло большие неудобства.

Генеральный русский механик Иван Иванович Ползунов впервые со всей ясностью сформулировал идею создания универсального теплового двигателя, способного «пресечь водяное руководство». Ползунов не только спроектировал, но построил первую действующую «огненную машину», предназначенную не для откачки воды, а для заводских целей, именно для приведения в движение воздуходушных мехов.

Солдатский сын Иван Иванович Ползунов родился в 1728 г. в Екатеринбурге, в 1738 г. окончил заводскую, так называемую «словесную» школу, затем учился в «арифметической» школе и в 1742 г., четырнадцати лет от роду, поступил на службу в Екатеринбургский горный завод, в «механические ученики». О суровой школе жизни, пройденной мальчиком Ползуновым, можно судить по тому, что в качестве ученика арифметической школы он получал 33¼ коп. в месяц, на службе его жалованье выросло до 50 коп. В 1747 г. «механический ученик» Ползунов переводится на Алтай в качестве гиттеншрейбера¹ на Барнаульский завод. В 1750 г. Ползунов получает чин унтер-шихтмейстера, однако всё ещё не допускается к изучению техники горнозаводского дела, продолжая оставаться «при исправлении гиттеншрейберских записок» (рапорт Ползунова от 5 марта 1753 г.). Ползунов стремится освоить технику горнозаводского дела, но его загружают хозяйственными делами: приёмкой и доставкой руд, заготовкой дров и т. д., а в 1758 г. он был командирован с грузом золота и серебра в Петербург. Несомненно, что любознательный и вдумчивый техник обогатил свой практический опыт беседами со знатоками горного дела, возможно, что он был в Академии наук и на Монетном дворе. Во всяком случае имеются свидетельства, что Ползунов изучал горное дело не только практически, но и теоретически, в частности изучал книгу Шлаттера «Наст. зление рудному делу», в которой содержалось, между прочим, и описание водоподъёмных паровых машин. Имеется указание о том, что в библиотеке города Барнаула было и обширное сочинение Леупольда «Theatrum machinarum» и сочинение Белидора «Architecture hydraulique», содержащие чертежи и описание известных в то время паровых водоподъёмников. В 1763 г. шихтмейстер Ползунов (офицерский чин шихтмейстера Ползунов получил в 1759 г., работая после Петербургской командировки на Колывано-Воскресенском заводе) подал начальнику Колывано-Воскресенских заводов проект огнедействующей машины.

Машина Ползунова отличалась от всех известных в то время огнедействующих машин прежде всего тем, что она предназначалась не для подъёма воды, а для заводских целей, во-вторых, в отличие от ньюкоменовской машины, в которой рабочий ход сменялся холостым, машина Ползунова

¹ Гиттеншрейбер — служащий, записывающий состав руды и выход выплавленного металла при плавильных печах.

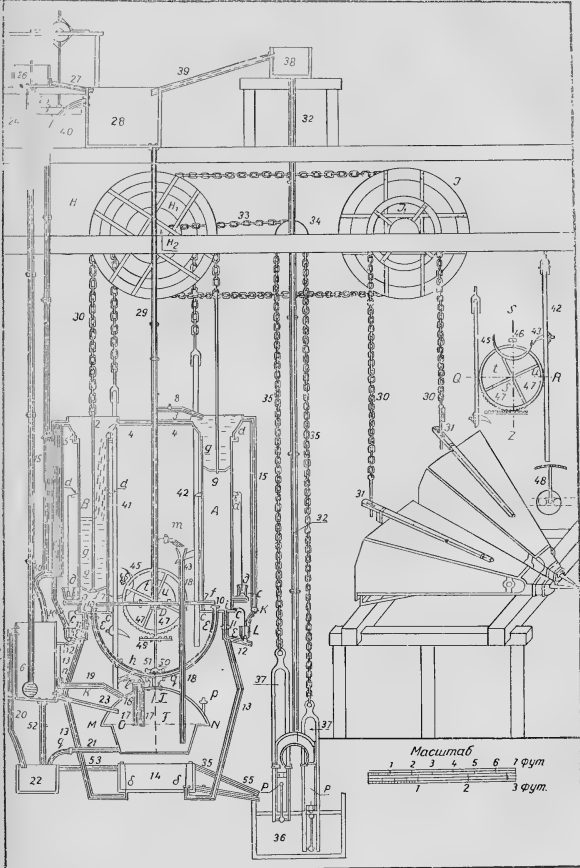


Рис. 131—133. Чертеж паровой машины Ползунова.

была машиной *непрерывного действия*. Непрерывность действия достигалась применением двух цилиндров вместо одного. Наконец, Ползунов предусмотрел в своей машине не только автоматическое парораспределение, но и автоматическое водопитание. Рассмотрим вкратце его проект¹.

Для пуска машины в ход открывается кран K (рис. 132), и вода из запасного резервуара 6 по трубке 23 поступает в котёл MN . Пар из котла через парораспределительный регулятор T попадает либо по трубке g в цилиндр A , либо по трубке h в цилиндр B . Попеременное движение поршней 9 передаётся посредством штоков и цепей 30 ведущему шкиву H . Возвратно-вращательное движение шкива H цепями передаётся шкиву J , а вместе с последним и шкиву J_1 , приводящему в движение меха 31 . На оси ведущего шкива H насажены также шкивы H_1 и H_2 . От шкива H_1 движение цепями передаётся брусью с прорезями вдоль них («проушинами») 41 и 42 . Вдоль прорезей могут передвигаться и зажиматься винтами в нужном положении «ладони» (кулачки) 43 . Посредством этих кулачков приводится в действие парораспределительный механизм и конденсационное устройство («прамы» 7 с краем D).

Парораспределительный механизм представляет собой «вилку» 45 (стержень с «полукружием»), могущую свободно вращаться вокруг оси S . Стержень вилки заканчивался противовесом 46 , высоту которого можно регулировать передвижением вдоль винтовой нарезки. На той же оси укреплено колесо 47 с зубчатой нарезкой на части его окружности и с гвоздями t и u , вбитыми в две взаимно перпендикулярные спицы колеса. Когда, например, поршень цилиндра A движется вверх, то вместе с ним движется стержень 42 с «ладонью» 43 , закреплённой в таком положении, что в момент достижения поршнем A верхнего положения ладонь ударяет о «полукружие» вилки и поворачивает её стержень до положения, чуть переходящего через вертикаль. Противовес 46 заставляет вилку стремительно падать вниз, и при ударе о гвоздь t последняя поворачивает колесо 47 на 90° . В этот момент осуществляется переключение пара и водяного крана D (под поршень A брызгается вода по «прамам» 7 , по трубке h подаётся пар в цилиндр B). Это осуществляется с помощью железной дуги с зубцами 48 , прикреплённой к железной ручке, заканчивающейся шайбой с отверстиями и наглухо прикреплённой к вертикальной оси 51 парового регулятора 50 и крана D .

Водопитание также осуществляется автоматически; от малого шкива H_2 приводится в движение питательный насос, подающий воду из цистерны 36 в резервуары 38 и 28 . Из резервуара 28 вода по трубке 29 подаётся в «прамы» и через открытую трубку 18 в котёл по мере убывания в нём воды.

Таким образом, Ползунов спроектировал заводскую машину непрерывного действия с оригинальным распределительным устройством, заменившим пеуклюжие балансиры и рычаги современных ему машин. Ползунов спроектировал части машины металлическими (медь, свинец, железо), в то время как в существовавших тогда машинах основным материалом было дерево.

За свой проект Ползунов получил повышение в чине, стал «механикусом», но реальной помощи в деле осуществления проекта ему не было оказано. Приказом от 22 января 1764 г. начальство Копылово-Воскресенских заводов предписало Ползунову строить машину. Для постройки машины Ползунов просил 19 человек квалифицированных рабочих и трёх учеников. Ему дали четырёх учеников и двух отставных мастеровых. О труд-

¹ См. В. Данилевский, Н. И. Ползунов, Госэнергоиздат, 1952.

ностях работы можно судить по тому, что Ползунов с этими двумя мастеровыми сумел к 20 мая 1765 г. изготовить 110 частей машины, не считая котла, причём вес отдельных частей доходил до 170 пудов. К этому нужно прибавить, что Ползунову одновременно приходилось изготавливать необходимые для работы инструменты. Но Ползунов преодолел все трудности, и 16 декабря 1765 г. машина была готова. Эта машина была построена по второму проекту, в котором Ползунов отказался от распределения с помощью шкивов и перешёл к обычному для тех времён — балансирам.

Вероятно, это было уступкой официальному мнению, выраженному Шлаттером в его весьма несостоятельной критике первого проекта (например, Шлаттер предлагал вместо схемы Ползунова двигатель — установка схемы: машина — водяное колесо — установка). Тем не менее и в новом проекте Ползунов нашёл способ обеспечить автоматическое парораспределение и водопитание. Испытания показали полную пригодность машины, она могла обслуживать не 5—6 печей, а вдвое больше. Надо было строить машины для заводской эксплуатации. Дело, по обыкновению, затормозилось, а между тем тяжёлый труд надломил здоровье изобретателя. 16 мая 1766 г. Ползунов умер от скоротечной чахотки. 7 августа 1766 г. машина была пущена для заводской эксплуатации. Но поддерживать новое дело было уже некому: 10 ноября 1766 г. машина была остановлена — и навсегда.

Неудача Ползунова в условиях царской крепостнической России понятна. Его идеи не стали достоянием современников и оставались неизвестными западным деятелям, работавшим над той же проблемой. Джеймсу Уатту выпало на долю довести до конца дело создания паровой машины.

Прославленный изобретатель Джеймс Уатт родился на 8 лет позже своего забытого предшественника¹. Уже в детстве Уатт мастерил модели машин и выбрал своей первой профессией — профессию лаборанта университета в Глазго. Здесь Уатт познакомился с выдающимися учёными того времени — химиком Блэком, создавшим учение о скрытой теплоте, физиком и химиком Пристли и знаменитым Кэвендишем. Уатт много читал, изучил три языка, принимал участие в научных исследованиях. Так, например, он принимал участие в знаменитых опытах Кэвендиша и Пристли по анализу воды.

Однажды в мастерскую принесли для починки демонстрационную модель ньюкоменовской машины. Разбирая модель, Уатт подверг критике её конструкцию и начал размышлять над способами устранения большой потери пара, а следовательно, и топлива в машине. Из этих размышлений возникла идея отделения конденсатора от рабочего цилиндра.

Вслед за этой идеей Уатт поставил перед собой задачу — использовать в качестве движущей силы упругость пара. Патент на своё изобретение Уатт взял в 1769 г. В первой своей конструкции машина Уатта сохраняла все черты машины Ньюкомена. Это была машина для откачки воды, с балансирами и вертикальным цилиндром. Изменения, внесённые Уаттом, заключались в замене рабочего атмосферного хода паровым и конденсировании пара в отдельном от цилиндра пространстве.

Машина оставалась попрежнему машиной простого прерывного действия (рабочий ход — холостой ход). Для реализации своего изобретения Уатт вошёл в компанию с заводчиком Робекем. Но Робек обанкротился, и в дальнейшем Уатт заключил соглашение с заводчиком Больтоном. Фирма «Уатт и Больтон» и явилась первым рассадником паровых машин.

¹ Уатт родился 19 января 1736 г. в Гринюке (Шотландия), в семье архитектора и судостроителя. Умер 25 августа 1819 г. в Гитфильде, в Стаффордшире.

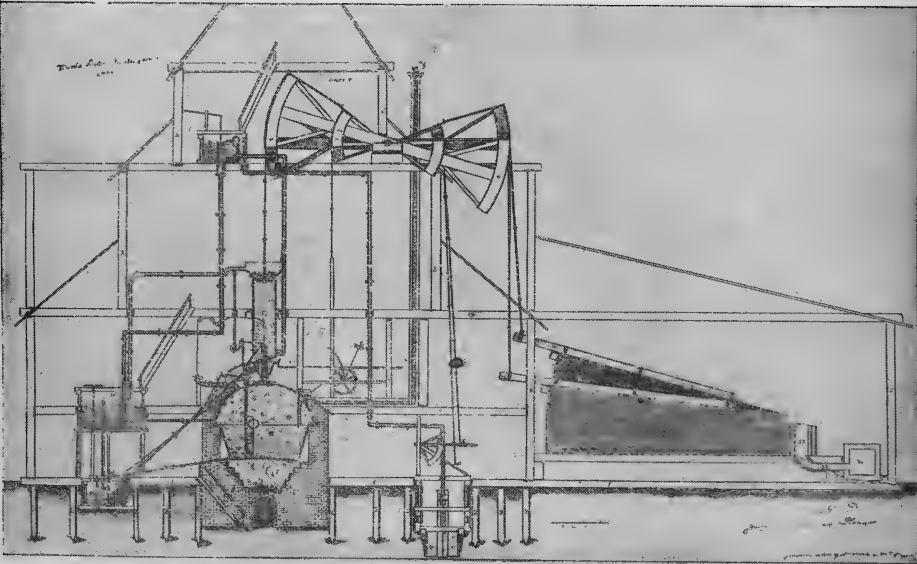


Рис. 134. Общий вид установки Ползунова,

Продолжая работу над усовершенствованием машины, Уатт построил в 1782 г. машину двойного действия. Это была уже непрерывно действующая машина, в которой источником силы был только пар. Уатту пришлось решать задачу автоматического переключения пара, что привело к изобретению золотника, и задачу преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное. Он нашёл пять решений этой задачи (патент № 1306 от 25 октября 1781 г.). С другой стороны, и самая передача движения поршня коромыслу не могла быть осуществлена прежним способом. Уатт обеспечил прямолинейность поршневого штока при качательных движениях коромысла с помощью весьма остроумного приспособления — шарнирного механизма, известного в теории механизмов под названием «параллелограмма Уатта»¹. В дальнейшем Уатт снабдил свою машину маховиком и центробежным регулятором. Так завершилось превращение паровой машины из водоподъёмника в универсальный двигатель.



Джеймс Уатт.

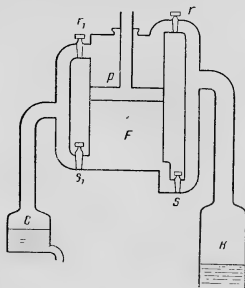


Рис. 135. Устройство машины Уатта.

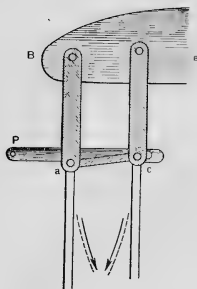


Рис. 136. Принцип устройства параллелограмма Уатта

¹ Это приспособление (рис. 136), принадлежит к числу так называемых плоских механизмов, играющих важную роль в машиностроении. Сам Уатт так описывает своё впечатление от работы его параллелограмма:

«Я сам был удивлён правильностью его действия. Увидав в первый раз его ход, я влюбился прелестью изобретения, я смотрел на него, как на изобретение другого механика».

Параллелограм Уатта и другие механизмы послужили исходным пунктом замечательных математических исследований гениального русского математика П. Л. Чебышева «О полиномах, наименее уклоняющихся от нуля».

В 1788 г. была построена машина для чеканки монет, в 1786 г. была построена паровая мельница, сгоревшая в 1791 г. В 1785 г. Робинсоны устроили первую паровую прядильную фабрику. За десятилетие 1775—1785 фирма Уатт—Больтоу поставила 66 машин: из них 22 для медных рудников, 17 для металлургических заводов, 7 для водопроводов, 5 для каменноугольных шахт и 2 для текстильных фабрик. За десятилетие 1785—1795 было построено уже 144 машины: из них 47 для текстильных фабрик и 22 для шахт. Начался век пара, металла и угля.

Хотя Англия XVIII в. совершила промышленный переворот и в ней быстрыми темпами развивался промышленный капитализм, тем не менее это вовсе не означает, что она сразу обогнала страны, в которых ещё господствовал крепостнический строй. Новое побеждает не сразу и старое не уходит со сцены, не исчерпав всех своих возможностей. В XVIII в. Англия отставала от крепостнической России в области производства железа. За счёт усиленной эксплуатации крепостного труда при Петре I и его преемниках на Урале и в Западной Сибири интенсивно развивается железоделательная и горнорудная промышленность. «Сибирские домы, — писал пемецкий историк техники Бек, — величайшие и лучшие древесно-угольные доменные печи, которые были до тех пор построены, и все, также и английские печи, по производительности были далеко ими превзойдены. Они были с мощными цилиндрическими воздуходувками с водяным приводом. Сибирские домы имели от 35 до 45 футов в высоту, от 12 до 13 футов в поперечнике в распоре, имели шесть цилиндрических воздуховодных мехов и производили в неделю от 2000 до 3000 центнеров чугуна, каковая мощность тогда не была достижимой даже для величайших английских коксовых домел».

Интенсивно работала и русская конструкторская мысль. Наряду с изобретателем суппорта А. К. Нартовым и изобретателем паровой машины П. П. Ползуновым в XVIII в. творили конструктор водно-энергетических передач К. Ф. Фролов, организатор механической прядильной фабрики Родион Глишков, выдающийся изобретатель Иван Петрович Кулибин (1735—1818), проектировщик арочного моста которого справедливо удивлялись Даниил Бернулли и Л. Эйлер. Заметим, что в то время уровень технической культуры вообще был очень низок и Уатт терпел большие мучения из-за неудовлетворительной работы механика. Тем же более смерть этого механика повергла его в полное отчаяние. Мы упоминали и об аналогичных мытарствах Ползунова. Тем значительнее выглядит заслуга таких умельцев, как Кулибин.

Говоря о техническом прогрессе в XVIII в., нельзя не упомянуть о необычайном развитии одной отрасли техники, которая, конечно, не имела такого революционизирующего значения, как рассмотренные только что изобретения, и даже, наоборот, была своеобразным пережитком цехового ремесла. Эта отрасль техники была автоматика, выросшая из часового производства и представляющая своеобразное предомление картезианских идей в технике. Изобретатели автоматов XVIII в. достигли необычайной виртуозности в конструировании игрушек, имитирующих движения живых существ. Особенно прославились автоматы инспектора королевских шелковых мануфактур Вокапсона и отца и сына Дроздов. Вокапсон изобрёл автоматического флейтиста, автоматическую утку, Дрозды — пишущего ребёнка, пианиста, рисовальщика. Выдающийся русский изобретатель Иван Петрович Кулибин сконструировал часы-автомат величиной в яйцо. Эти часы были шедевром автоматической техники. Они показывали пасхальные интермедии, сопровождаемые музыкой. Другим выдающимся конструктором автоматов был изобретатель карминовых красок

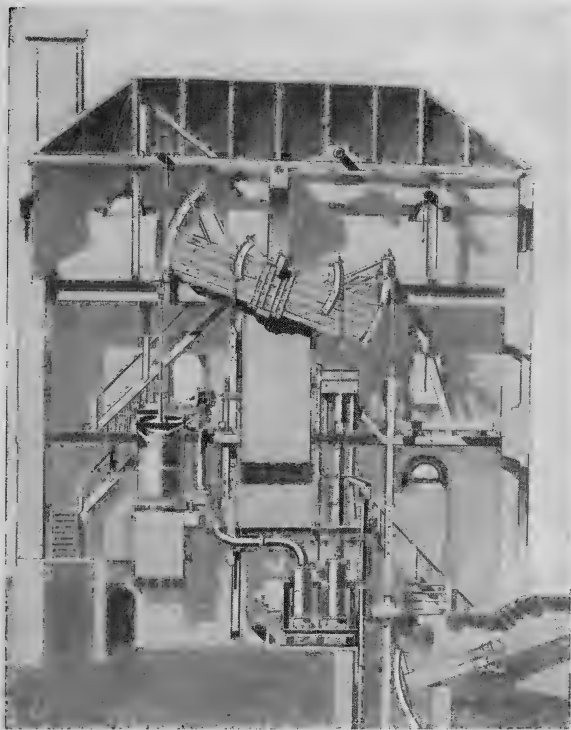


Рис. 137. Паровая машина XVIII в.

Волосков, изготовивший оригинальные часы. В 1759 г. механик Московского университета Дюмолин показывал «курьёзные самодействующие машины»: поющую капарейку и автоматическую ткачиху.

Эти изобретения теснейшим образом были связаны с поисками вечного движения, и проекты вечных двигателей поступали в Парижскую академию в таком количестве, что она была вынуждена в 1775 г. объявить, что такие проекты больше рассматриваться не будут.

В этом отношении XVIII век подготовил широкую эмпирическую основу закона сохранения энергии.

Тематика физики XVIII в.

Технический прогресс не мог не оказать существенного влияния на тематику физики. Теория механизмов и машин предъявила новые запросы и механике. Материала механики точки было уже недостаточно, возникла потребность в механике твёрдого тела. Расширение механики, разработка её математического аппарата составляет одну из существеннейших черт середины XVIII в., приведшую в конечном счёте к выделению механики как самостоятельной дисциплины, относящейся к сфере прикладной математики. Развитие металлургии, использование движущей силы пара стимулировали изучение тепловых явлений. Исследование законов теплоты — одна из центральных проблем физики XVIII в. Термометрия, калориметрия, плавление, испарение, горение — все эти вопросы приобрели особую актуальность.

Большое развитие в XVIII в. получило учение об электричестве, собственно электростатика. Однако интерес к электричеству вряд ли был осознанным стремлением изучить новую движущую силу. Для широкой публики электрические явления представляли такие же курьёзы, как и автоматы. Электрические опыты были модой и при дворах королей и в салонах знатных дам. Научный же интерес к этому классу явлений был обусловлен логическим развитием индуктивного метода, с таким успехом зарекомендовавшего себя в физике XVIII в.

Эпоха так называемого «просвещённого абсолютизма» наложила своеобразный отпечаток на развитие физики. Празднества, иллюминации, музыка предъявили запросы и к изучению источников света и источников звука. Развитие музыкальной и физической акустики, возникновение фотометрии свидетельствуют о таких интересах.

В Петербурге механик-самоучка Кулибин конструирует фонари-прожекторы, во Франции Буге и в Берлине Ламберт разрабатывают методы сравнения яркостей источников. Эйлер создает математическую теорию тонов. Совер закладывает экспериментальные основы акустики.

Вопросы теории познания.

Таковы основные проблемы физики XVIII в. Они являются естественным продолжением развития физики XVII в. Наоборот, предреволюционный период характеризуется идеологической подготовкой революции французскими материалистами и постановкой таких боевых проблем, как теория познания, взаимоотношение духа и материи, а в собственно натурфилософии — взаимоотношение силы и материи или также материи и движения.

Эти боевые вопросы философии были чётко сформулированы и не только сформулированы, но и были предприняты попытки их решения. В связи с этим отчётливо обозначилось размежевание философов на два основных лагеря — идеалистов и материалистов. Уже в «Письмах к немецкой принцессе» Эйлера мы находим констатацию этого факта. Правда, сам Эйлер, восставая как естествоиспытатель против идеализма, не решился в силу своей классовой ограниченности безоговорочно примкнуть к материалистическому лагерю и занимает позицию «золотой середины», но во всяком случае свидетельство Эйлера об идейном размежевании чрезвычайно показательно. Переворот в науке сделал крайне необходимым анализ основных гносеологических вопросов, в частности вопроса об источниках познания и о надёжности знаний, получаемых из этих источников.

Два противоположных друг другу мнения об источниках познания возникли в рассматриваемую эпоху. Сенсуалистическая линия, идущая от Локка, утверждала, что источником познания являются чувства. Познание не есть процесс развития врождённых идей, а процесс развития чувственных восприятий. В разуме нет ничего, что не было бы дано в чувствах.

Сам Локк занимал компромиссную, половинчатую позицию; разделяя опыт на объективный и субъективный, а качества вещей — на первичные и вторичные, стремился узаконить религиозные представления.

Эта непоследовательность позиции Локка дала возможность Беркли развить сенсуализм до крайних идеалистических выводов. Беркли прямо утверждал, что самое существование вещей определяется их восприятием, что, следовательно, за ощущениями, переживаниями человеческого «Я» не лежит никакой объективной действительности. Материя исчезает, остаются одни ощущения. Беркли не скрывает направленности своей теории познания, его позиция — позиция воинствующего идеализма. Он хочет уничтожить основную опору материализма, объективную реальность, материю, прибегая к богу как основному источнику всего сущего, в том числе и наших переживаний.

Более тонкой является точка зрения Юма. Юм считает, что ни вопрос о существовании материи, ни вопрос о существовании бога не могут быть решены в рамках опытного познания, а потому и не должны ставиться. Единственным объектом познания являются наши ощущения. Таким образом, Юм по существу примыкает к Беркли. Однако Беркли «откровенно рассуждал, простовато рассуждал»¹, а Юм более тонко «устранял» основной гносеологический вопрос об объективной реальности. В связи с этим позиция Юма оказалась более вредной для развития науки, пустила более глубокие корни в науке, особенно в математике. Юм формулирует цель научного познания как упорядочение опыта, грушировку, сочетание переживаний. По Юму, «суждения могут быть открыты путём одной только деятельности мышления, без отношения к тому, что существует где бы то ни было во вселенной».

Точка зрения субъективного идеализма, так отчётливо выявившаяся в XVIII в., была своеобразным продуктом новой опытной науки. Вновь подтвердилось гениальное указание Ленина, что идеализм имеет свои гносеологические корни. Но этот «пустоцвет», выросший на могучем древе живого объективного человеческого познания, своим появлением подтачивал корни этого дерева, мешал развитию науки, подрывал веру в силу науки. Поэтому передовая научная мысль того времени не могла не реагировать на выступление субъективных идеалистов.

Субъективные идеалисты полагали, что первичным является сознание, дух. Понятие о материи, существующей в пространстве и времени, является вторичным, образующимся, как полагал Юм, в результате «привычки» ассоциировать разрозненные группы ощущений. Логическим следствием такого хода мыслей должен быть солипсизм, и Эйлер правильно указывал, что «правильнее сих философов было бы назвать эгоистами»². Возражая субъективным идеалистам, утверждающим, что нет никакого способа обнаружить за нашими ощущениями объективную их причину, Эйлер писал: «пёс, который, увидя меня, лает, совершенно уверен в бытии моём, ибо моё присутствие рождает в нём обо мне понятие. Посему пса сего нельзя назвать идеалистом». Эйлер указывает, что «привычка», столь не правящаяся субъективным идеалистам, связывать переживания с внешним раздражителем, свойственна не только сознательному человеку, но и младенцу, и самым неразумным тварям, «по сему не может быть, чтобы сие было предубеждение». В другом месте Эйлер остроумно замечает, что если бы крепостной крестьянин разуверился в объективном существовании помещика, то палка господина быстро бы направила его на надлежащий путь.

¹ В. И. Ленин, Соч., т. 14, стр. 16.

² Эйлер, Письма о разных физических и философических материях, пер. Румовского, СПб, 1790.

Соллипсизм — это крайнее выражение субъективного идеализма. Более умеренные (и более непоследовательные) идеалисты допускают существование внешнего мира. Но они считают, что наши чувства не могут доставить нам достоверные знания об этом мире. Чувства — это не окна во внешний мир, а, наоборот, перегородки, отделяющие нас от этого мира. Такова, например, точка зрения Канта о существовании «вещей в себе», не доступных нашему познанию. Одним из аргументов сторонников недостоверности чувственного познания является аргумент об обмане чувств. Эйлер возражал, указывая, что сами чувственные обманы вскрываются нашими же чувствами, что мы имеем возможность контролировать наши впечатления, что существуют способы отличать истинное от не истинного. Так Эйлер как представитель передовой науки того времени боролся с субъективным идеализмом.

Но мы уже указывали выше, что позиция самого Эйлера не была последовательно материалистической¹. Наиболее передовую для того времени точку зрения в теории познания защищали французские материалисты. Эйлер, например, не мог признать материальный характер мышления. Эйлер был дуалистом и считал важнейшей задачей теории познания установление соответствия между духом и материей, установление локализации души в теле, установление связи души и тела. Французские материалисты считали мышление атрибутом материи. Жизнь — материальный продукт, возникающий в результате определённого развития, воздействия суммы тепла и движения. Понятно, что наши ощущения способны давать сведения о законах материального мира. «Мы, — говорит Дидро, — инструменты, одарённые способностью ощущать и памятью. Наши чувства — клавиши, по которым ударяет окружающая нас природа и которые часто сами по себе ударяют».

Субъективный идеализм Беркли и подобных ему философов — это тот момент в истории мысли, когда нашлось «сумасшедшее фортепиано», возмнившее, что оно одно существует на свете.

Разумеется, передовая точка зрения французских материалистов была передовой для того времени. Материализм французских просветителей был ограниченным, механистическим. Научный материал того времени не позволил им делать более глубоких выводов и обобщений. На новом этапе развития науки последовательную материалистическую точку зрения в теории познания защищал Ленин в своём бессмертном произведении «Материализм и эмпириокритицизм», в котором он вернулся к спору, возникшему ещё в XVIII в.

**Материя
и движение.**

Считая, что материя может ощущать и мыслить, французские материалисты правильно связывали эту способность со способностью материи к движению. В своих философских выводах они опирались на ньютоновскую физику как передовую научную систему того времени. Но, как мы уже знаем, материя Ньютона была косой, инертной, не способной к движению. Движение материи сообщается посторонним агентом — силой. Ньютоновская материя не только не была способна к самодвижению, но и не обладала способностью сохранять движение. Сам Ньютон задавал вопрос: «Устроена ли солнечная система так, что она никогда не придёт в расстройство? Не нужно ли, чтоб творческая мудрость время от времени исправляла бес-

¹ Более того, Эйлер очень часто пропагандирует реакционно-поповские идеи. Даже Фридрих II говорил, что от Эйлера чересчур пахнет попом. Тем интереснее факт борьбы Эйлера против идеализма, свидетельствующий о стихийном материализме естествоиспытателей.

порядок?»¹. Современник и соперник Ньютона Лейбниц с негодованием отверг сравнение бога с плохим часовщиком, не обеспечившим вечного хода своих часов. «По моему мнению, — писал он, — одна и та же сила существует постоянно и управляет веществом по закону естественному и по порядку предварительному»². И Лейбниц выдвинул свою идеалистическую систему, в основе которой лежит представление о монадах, наделённых способностью к самодвижению. Так как бог, по Лейбницу, также мировая монада, то подход Лейбница к вопросу о связи материи и движения был теологическим (богословским). Ленин отмечал, что «Лейбниц через теологию подходил к принципу неразрывной (и универсальной, абсолютной) связи материи и движения» и далее: «Монады = души своего рода. Лейбниц = идеалист. А материя нечто вроде инобытия души или клселя, связующего их мирской, плотской связью»³.

Но даже и такой богословский подход не устраивал крайних ньютонианцев. Так, С. Кларк (редактор издания «Опники» 1740 г.) писал в связи с возражением Лейбница: «Кто утверждает, что мир есть великая машина, движущаяся без помощи часовщика, тот вводит в мир материализм и фатализм и изгоняет из него провидение и волю всемогущего... Кто предполагает, что королевство может хорошо идти без надзора короля, того можно подозревать, что он считает короля совершенно лишним; следовательно, кто утверждает, что бог не беспрестанно управляет миром, тот стремится к безбожию». Таким образом, вопрос о связи материи и движения был не только философской проблемой, но и приобретал политическую окраску. Быть сторонником самодвижения, значило быть республиканцем и безбожником. Передовая философская мысль XVIII в., высоко оценивая достижения ньютоновской физики, не могла пойти за ньютонианцами в вопросе о связи материи и движения. Английский философ-материалист Дикон Т о л а н д (1670—1722) писал: «Я отрицаю, что материя есть и всегда была бездейственной мёртвой глыбой, находящейся в состоянии абсолютного покоя, чем-то косным и неворотливым». В противоположность представлению о косной материи, Толанд утверждает, «что движение есть существенное свойство материи, иначе говоря, столь же не отделимое от её природы, сколь не отделимы от неё непроницаемость и протяжение, и что оно должно входить составной частью в её определение».

В том же духе, но с большей конкретностью высказывается и знаменитый естествоиспытатель XVII в. Джозеф П р и с т л и (1733—1804): «Материя не является косной субстанцией, как это обычно допускается. Сила притяжения или отталкивания необходимо связана с её подлинным существом, и ни одна её часть не непроницаема для другой части. Поэтому я определяю материю, как субстанцию, обладающую свойством протяжённости и силой притяжения или отталкивания».

Активность материи как один из её основных атрибутов принималась и французскими материалистами. Гольбах писал, что «движение — это способ существования..., вытекающий необходимым образом из сущности материи». Дидро учил, что молекулы наделены активной силой, что всё в природе находится в движении и возникновении.

Так, в своих «Философских основаниях материи и движения» он писал: «Тело, по мнению некоторых философов, само по себе бездейтельно и бессильно; это ужасная ошибка, идущая в разрез со всякой здоровой физикой, со всякой здоровой химией: тело исполнено деятельности и силы

¹ А р а г о, Биографии, СПб, 1861, стр. 40.

² Там же, стр. 41.

³ В. И. Л е н и н, Философские тетради, 1947. стр. 315.

и само по себе, и по природе своих основных свойств, — рассматриваем ли мы его в молекулах или в массе...»

И далее:

«... я останавливаю свой взор на общей массе тел, я вижу всё в действии и противодействии, я вижу, как всё разрушается под видом одной формы и восстанавливается под видом другой... Отсюда я заключаю, что существует бесконечное разнообразие элементов в природе, что у каждого из этих элементов... есть своя самобытная, вечная, неразрушимая сила».

Но физика XVIII в. знает только механическое движение. Поэтому она не могла ещё дать материала для учения о разнообразии форм движения, об их превратимости, и хотя Ломоносов уже смог сформулировать закон сохранения материи и движения, однако почва для закона сохранения энергии ещё не была подготовлена. В самом вопросе о мере движения, или, как тогда выражались, мере силы, была неясность, возник знаменитый спор о двух мерах движения. Будучи не в состоянии сформулировать с научной определённоностью закон сохранения движения, физика XVI в. пыталась объяснить разнообразие физических процессов разнообразием агентов, вызывающих эти процессы. Изгнанный было Аристотель с его категориями и скрытыми качествами с торжеством вернулся в натурфилософию XVIII в. Теллурод, флогистон, электрические и магнитные жидкости, световая субстанция — прочно утвердились в теоретических концепциях физиков и химиков того времени, несмотря на прогесты таких выдающихся деятелей, как Ломоносов и Эйлер. Учение о невесомых ярко иллюстрирует ограниченность теоретических воззрений философов XVIII в., сумевших поставить боевые вопросы натурфилософии и теории познания, но не нашедших ещё в тогдашней науке материала для их решения. Перейдём к основным результатам развития физики в XVIII в.

Наш обзор, естественно, должен начаться с механики.

Механика. Путь развития этой отрасли физики был намечен Ньютоном. Задача посленьютоновской механики сводилась

к анализу исходных понятий и принципов и к разработке аналитического аппарата в целях его наилучшей приспособленности к решению конкретных задач, круг которых расширился.

Одним из основных понятий ньютоновской механики было понятие силы, связанное с возникновением, уничтожением и изменением механического движения. Напомним, что сила у Ньютона измеряется количеством движения, появившимся или исчезнувшим за единицу времени. При этом за меру количества движения Ньютон принимает величину mv , введённую ещё Декартом (с тем, однако, отличием, что Декарт не принимал во внимание направленности величины mv). Введение этой меры давало возможность связать новое определение со старым статическим, основанным на измерении деформации, и установить связь второго и третьего законов. Плодотворность этой меры нашла своё выражение в замечательных достижениях ньютоновской механики. Однако Лейбниц в 1686 г. поместил в «Acta eruditorum» статью «Краткое доказательство ошибки достопамятного Декарта и других касательно закона природы, благодаря которому бог желает сохранять всегда количества движения теми же», положившую начало знаменитому спору о двух мерах движения.

Лейбниц считает, что движения, получающиеся при падении различных грузов с различных высот, одинаковы, если произведение веса на высоту одно и то же. В самом деле, деформации, например пружины, производимые такими упавшими грузами, будут одинаковы. Но, как было установлено ещё Галилеем, высоты падения будут пропорциональны *квадрату* скорости, развиваемой телом в конце падения. Поэтому Лейбниц считает,

что истинная мера движения должна быть пропорциональна mv^2 . В работе 1695 г. Лейбниц предлагает разделить силы на два класса — «мёртвые» (статические) и «живые» (кинетические). Деформация, которую производит покоящийся груз, действительно пропорциональна количеству движения mv , создаваемому за 1 секунду, при падении груза из состояния покоя. «Живые» силы измеряются величиной mv^2 , уничтожаемой на каждой единице пути. В споре о мерах движения приняли участие выдающиеся физики и философы XVIII в. Точку зрения Лейбница защищали И. Бернулли, Герман, картезианскую — Папин, Мераин, Кларк. Первый этап спора закончился предсловием Даламбера к его «Трактату механики», который показал *формальную* эквивалентность обеих мер. Пусть тело массой m , движущееся со скоростью v , тормозится некоторой силой f . Что следует принять за меру исчезнувшего движения? Торможение осуществляется на определённом отрезке S за определённый промежуток t . Сила f может быть выражена как через изменение движения на единице пути, так и через изменение движения за единицу времени. В первом случае движение должно измеряться величиной mv^2 , во втором — величиной mv ($f = \frac{mv^2}{2S} = \frac{mv}{t}$).

Современный школьник, решая задачи механики, следует рецепту Даламбера, когда выбирает между законом сохранения кинетической энергии или законом сохранения количества движения. Однако Даламбер ещё не мог дать полного *решения* проблемы. Потребовалось открытие закона сохранения энергии и философский анализ Энгельса, чтобы внести полную ясность в знаменитый спор о двух мерах движения. Энгельс был прав, когда писал, что «Даламбер мог бы не утруждать себя тирадами о неясности воззрений своих предшественников, ибо его собственные взгляды были столь же неясны. И действительно, в этом вопросе должна была оставаться неясность, пока не знали, что делается с уничтожающимся как будто механическим движением»¹.

Значительно больших успехов достигла механика в анализе и формулировке её исходных принципов. В статике В а р и н ь о н (1664—1722) вывел старый принцип рычага из нового принципа параллелограмма сил («Новая механика», 1725 г.). В той же механике Варignon содержалось письмо И. Бернулли, в котором излагался принцип возможных скоростей. В частных случаях этот принцип уже применялся и Стевином, и Галилеем, и Паскалем, но теперь ставился вопрос о обосновании всей статике с помощью этого принципа. Это и было сделано Лагранжем в его знаменитой «Аналитической механике», вышедшей в 1788 г. Лагранжева формулировка принципа гласит: «Если какая-либо система, состоящая из любого числа тел или точек и подверженная действию каких-либо сил тяги или движения, находится в равновесии, и системе этой сообщается какое-либо незначительное движение, вследствие которого каждая точка пробегает бесконечно малое пространство (виртуальная скорость), то сумма произведений из сил, приложенных ко всякой данной точке, на величину перемещения точек в направлении силы всегда равна нулю; при этом предполагается, что перемещения, происходящие в направлении силы, имеют положительный знак, а в обратном отрицательный». Принцип этот может быть выражен аналитически следующей формулой. Пусть $p, q, r, s, \dots$ — точки рассматриваемой системы, а P, Q, R, S соответственно представляют силы, действующие на эти точки. Пусть далее $dp, dq, dr, ds, \dots$ — проекции возможных перемещений точек на направления соответствующих

¹ Э н г е л ь с, Диалектика природы, 1952, стр. 70.

сил. Тогда условие равновесия выразится так: для любого возможного перемещения

$$Pdp + Qdq + Rdr + Sds + \dots = 0.$$

При этом возможном, или виртуальном, перемещением называется перемещение, дозволяемое связями, действующими в системе. С помощью этого принципа Лагранж свёл решение задач статики к чисто вычислительным операциям и с гордостью заявил, что в его

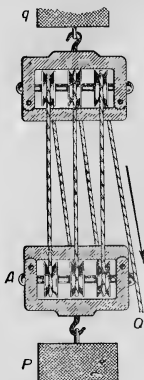


Рис. 138. Полиспаст.

книге нет ни одного чертежа. Эта эволюция математических методов физики от геометрических ньютоновских до аналитических лагранжеровых составляет характерную особенность развития теоретической физики XVIII в., и мы рассмотрим её несколько подробнее. Но сначала рассмотрим простой пример, иллюстрирующий принцип возможных перемещений, — пример, разобраный ещё Стевином и который сыграл большую роль в обосновании принципа Лагранжем. Мы имеем в виду так называемый полиспаст 4-го рода или тали. Эта механическая система состоит из пары обоей — неподвижной и подвижной. Каждая из обоей несёт на общей оси определённое число блоков, допустим n . Подвижная обойма (рис. 138) несёт груз P . Система оснащается гибкой нерастяжимой нитью следующим образом: конец нити прикрепляется к точке A подвижной обоймы, и нить, обвив её первый блок, обвивает далее первый блок неподвижной обоймы, затем второй блок подвижной обоймы и т. д. К концу нити, обвившей последний n -й блок неподвижной обоймы, приложена сила Q . Требуется (в предположении невесомости обоей, блоков и нити) найти условие равновесия системы при совместном действии сил P и Q . Сообщим

точкам приложения этих сил возможные малые перемещения в направлении сил P и Q . Эти перемещения будут — dp (противоположное по направлению P) и dq .

По принципу возможных перемещений

$$-Pdp + Qdq = 0; \quad \frac{P}{Q} = \frac{dq}{dp}.$$

Ввиду нерастяжимости нити

$$dq = ndp \text{ и, следовательно, } \frac{P}{Q} = n.$$

Таково известное условие равновесия полиспаста. Этим условием и воспользовался Лагранж для обоснования принципа. Представим себе, что на систему точек $p, q, r \dots$ действуют силы $P, Q, R, \dots$, имеющие общую меру Λ^1 , так что $P = k\Lambda, Q = l\Lambda, R = m\Lambda$. В этом случае подходящим подбором блоков и полиспастов можно замещать всю систему сил грузом Λ (например, если на точку q действует сила $Q = l\Lambda$, то с помощью полиспаста, расположенного в направлении силы Q и обвитого верёвкой l

¹ Мы только намечаем идею обоснования. Подробно и ясно обоснование Лагранжа рассматривается Кириичёвым в «Беседах о механике», Гостехиздат, 1950.

раз, мы можем уравновесить эту силу грузом A). Система при любом возможном перемещении остаётся в равновесии, если груз не поднимается, не опускается. Но при возможном перемещении dp под действием силы P груз совершает перемещение kdp , при перемещении точки приложения силы Q на dq груз совершает перемещение ldq и т. д. Следовательно, груз не будет ни подниматься, ни опускаться, если алгебраическая сумма

$$kdp + ldq + mdr + \dots = 0$$

или

$$Akdp + Aldq + Amdr + \dots = 0.$$

А это и есть выражение принципа

$$Pdp + Qdq + Rdr + \dots = 0.$$

Разумеется, могут быть различные обоснования принципа, т. е. сведение его к более «простым» и наглядным постулатам, и суть дела заключается, как мы уже указали, в его аналитической плодотворности. Процесс внедрения анализа в механику, закончившийся тем, что со времён Лагранжа и Пуассона механика выделилась в самостоятельный отдел прикладной математики, был первым шагом на пути разделения физики по её методам на теоретическую и экспериментальную.

Бажнейшую роль в создании теоретической физики сыграл Эйлер, который по сути дела является её основателем. Остановимся коротко на процессе возникновения теоретической физики.

В 1716 г. вышла «Форономия» Германа (одного из первых петербургских академиков). Излагая статику по старому геометрическому методу, Герман при изложении кинематики использует анализ. В дальнейшем применении анализа к задачам механики с успехом занимались братья Яков и Иоганн Бернулли.

В частности они сформулировали первые вариационные задачи (задача о брахистохроне И. Бернулли, изопериметрическая задача Я. Бернулли). Но слава создания вариационного исчисления принадлежит опять-таки Эйлеру. Роль же вариационного исчисления в механике достаточно известна.

В 1736 г. в Петербурге вышла «Mechanica sive motus scinetia analytisa exposita» Эйлера. Эта «Аналитически представленная механика» явилась важной вехой в развитии теоретической физики. В этом труде Эйлер трактует скорость как вектор, вводит понятие геометрического приращения скорости, описывает движение в сопровождающей системе координат и проектирует ускорение на касательную и нормаль. Это была действительно аналитическая механика, в которой целый ряд задач был решён просто и изящно с помощью средств анализа.

Мы рассмотрим «Механику» Эйлера подробнее ввиду её важного исторического значения. Она состоит из двух томов, из которых в первом трактуются свободное движение точки, во втором — несвободное. Первая глава первого тома носит название «О движении вообще». Здесь Эйлер рассматри-

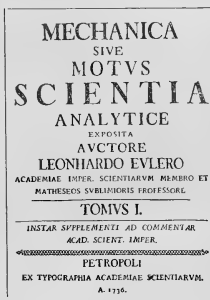


Рис. 139. Титул «Механики» Эйлера.

васт основные понятия, связанные с движением. В первом определении движение тела представляется как его перемещение из одного места в другое. В связи с этим возникает вопрос об относительности движения и, если можно так выразиться, его атрибутивности. Эйлер указывает, что место может быть занято только телом, потому, что «только о теле можно говорить, что оно движется или находится в покое». Таким образом, по Эйлеру, движение немислимо без материального тела, совершающего это движение. «И это понятие движения и покоя настолько свойственно телу, что оно распространяется сплошь на все тела. Ведь ни одно тело не может существовать без того, чтобы двигаться или находиться в покое».

Эйлер принимает существование ньютонова абсолютного пространства. «Место есть часть неизмеримого или бесконечного пространства, в котором находится весь мир. Принятое в этом смысле место обычно называют абсолютным».

Эйлер полагает вытекающие отсюда определения абсолютного покоя и движения совершенно правильными и естественными, поскольку на них основываются законы механики Ньютона. «Но так как мы не можем выработать себе правильного понятия об этом неизмеримом пространстве и о его границах..., то вместо этого неизмеримого пространства и его границ обычно принимают во внимание конечное пространство и телесные границы, исходя из которых мы и будем судить о движениях и о покое тел», т. е. на практике мы пользуемся относительными движениями и покоем. Абсолютное пространство, по Эйлеру, это математическая удобная абстракция. «Удобнее всего будет в конце концов договориться так, чтобы, отвлекаясь от окружающего места, мы представили себе бесконечное и пустое пространство и допустили, что в нём помещены тела».

Рассматривая ближе природу движения, безразлично абсолютного или относительного, Эйлер усматривает в качестве его характерного свойства — непрерывность, отсутствие скачков.

Предложение I.

«Всякое тело, которое передвигается в другое место при помощи абсолютного или относительного движения, проходит через все средние места и не может из начального места перейти сразу в конечное». Если бы такой скачок произошёл, то это означало бы, что в первом месте движение уничтожилось и тотчас же в последнем месте вновь появилось, «чего не может быть по законам природы, если не будет чуда».

Эта постановка вопроса Эйлером чрезвычайно важна и характерна для классического анализа и естествознания. Здесь в явной форме выражены знаменитый тезис метафизического периода естествознания: «природа не делает скачков». Таким образом, Эйлер полностью выражает взгляды механического естествознания с его приматом непрерывности и допущением абсолютно пустого пространства материального мира. Заслуга его заключается в том, что он формулирует эти представления чётко и ясно, указывая одновременно на трудности, связанные, например, с допущением абсолютного пространства. Вместе с тем примат непрерывности заставляет Эйлера относиться отрицательно к идее дальнего действия, являющегося по существу физическим скачком на расстояние. Но об этом ниже. Пока же мы можем резюмировать, что Эйлер защищает в качестве общих свойств механического движения его неотделимость от материальных тел и его непрерывность.

Далее в «Механике» Эйлер рассматривает абсолютное движение и покой. Абсолютный покой и абсолютное пространство существуют, как мы

уже говорили, потому, что в природе имеет место принцип инерции и законы ньютоновой механики. «Тело, находящееся в состоянии абсолютного покоя, должно вечно пребывать в покое, если не получит побуждения к движению от внешней причины». Эта теорема у Эйлера доказывается ссылкой на принцип достаточного основания: покоящееся в бесконечном пустом пространстве тело не имеет достаточного основания к движению. Однако отсутствие достаточного основания само по себе не является единственной причиной пребывания тела в покое: «нет никакого сомнения, что в самой природе тела заложена причина этого явления». Закон инерции — закон абсолютный и, как легко можно убедиться на опыте, не имеет силы по отношению к покою относительному. Тела, находящиеся в состоянии относительного покоя, получают ускорение вместе с ускорением системы отсчёта. Далее, «если тело имеет абсолютное движение, то оно всегда будет двигаться равномерно, а также и раньше в любой момент времени его движение имело ту же скорость, — если только на него не действует или не действовала какая-либо внешняя причина». Кроме того (предложение 9), «тело, обладающее абсолютным движением, будет двигаться по прямой». Всё это Эйлер подтверждает ссылкой на отсутствие достаточного основания. Таким образом, абсолютное пространство обладает свойством однородности и изотропности. Закон не имеет силы для относительных движений: «если па тело не действуют никакие внешние причины, то надо считать, что оно может относительно двигаться неравномерно и в то же время абсолютно или находиться в покое или двигаться равномерно и прямолинейно. Отсюда некоторым образом можно понять, насколько отличается относительное состояние от абсолютного». Это «некоторым образом» связано с классическим принципом относительности: «Если пространство, относительно которого определяется относительное движение, пребывает в абсолютном покое или движется равномерно и прямолинейно, то указание закона о движении и покое будет иметь силу и при относительном состоянии тел». Такая равноправность всех инерциальных систем приводит к тому, что мы «не можем сделать большего заключения, чем то, что это тело находится или в абсолютном покое, или абсолютно движется равномерно и прямолинейно, но при этом мы не можем определить ни величины этого абсолютного движения, ни его направления». Но это последнее обстоятельство не имеет существенного значения для механики, «так как и относительное движение подчиняется тем же законам». Можно с одинаковым правом на практике пользоваться любой инерциальной системой.

Установив общие свойства движения, Эйлер переходит к исследованию его причин. Этому вопросу посвящена вторая глава первого тома «О действии сил на свободную точку». Ещё в первой главе Эйлер вводит понятие «силы инерции» (определение 9), причём этот термин Эйлера, по существу, равнозначен с «мерой инерции»: «зависящая от природы тел причина их сохранения, их состояния и есть то, что называется силой инерции». Это — внутреннее свойство тела, в то время как сила представляет собой внешнее воздействие. «Сила есть то усилие, которое переводит тело из состояния покоя в состояние движения или видоизменяет его движение» (определение 10). Эйлер в «Механике» занимает ещё осторожную позицию между ньютоновскими и картезианскими воззрениями. Во всех предыдущих определениях и предложениях он развивает идеи «Начал» Ньютона. Определение 10 также является формальным определением силы, и, подобно автору «Начал», Эйлер отказывается определённо высказаться: «имеют ли подобного рода силы своё происхождение в самих телах, или же они существуют в природе сами по себе». Но, «что бы там ни было, — прибав-

ляет Эйлер, — мы с достаточной ясностью видим, что подобного рода силы¹ могут получить своё начало из упругих тел и их вихрей», и обещает в своём месте реализовать эту картезианскую программу объяснения сил. И, действительно, в позднейших работах Эйлера, в «Теории движения» и особенно «Письмах к немецкой принцессе», Эйлер категорически высказывается против идеи самостоятельного существования сил и действий на расстоянии и причину возникновения сил усматривает в инерции тел и их непроницаемости. В «Механике» же Эйлер ставит далее вопрос о мере сил и их математическом выражении. Прежде всего он устанавливает векторный характер силы, формулирует принцип суперпозиции сил, и затем, разобрав действие силы на движущуюся точку, приходит к выводу, что «результат действия силы на движущуюся точку двоякий. Во-первых, он заключается в изменении величины скорости, во-вторых, в изменении её направления». Этот принцип разложения силы Эйлер использует затем в главе о криволинейном движении для получения естественных уравнений движения точки. Здесь же он устанавливает, что две силы, действующие на точки разных масс, производят одинаковое действие, если $\frac{q}{p} = \frac{b}{a}$, где p — сила, действующая на точку массы a , q — сила, действующая на точку массы b . «Это предложение заключает в себе основы для измерения силы инерции, так как на нём основывается учение о том, как должно учитывать материю или массу тел в механике. Следует обращать внимание на число точек, составляющих тело, которое должно быть приведено в движение, и масса тела должна быть принятой пропорциональной этому числу. Эти точки надо считать равными между собой, но не так, что они равно малы, но так, что на них одна и та же сила производит равные действия. Если мы представим себе, что вся материя тела разделена на подобного рода равные точки или элементы, то количество материи каждого тела по необходимости надо будет измерять числом точек, из которых оно составлено». Так Эйлер расширярует сущность ньютоновского определения массы, основанного на атомическом принципе. «Два тела равны между собой в смысле количества материи, если они составлены из одинакового числа точек». Этот способ сравнения масс совпадает с общепринятым способом определения масс по весу. «На опытах доказано, что все тела в пустоте падают одинаково, и поэтому все они благодаря силе тяжести ускоряются одинаковым образом. Отсюда необходимо следует, что сила тяжести, действующая на отдельные тела, пропорциональна их количеству материи». Масса тел характеризуется их инерцией, как это вытекает из основного предложения о действии силы: «сила инерции каждого тела пропорциональна количеству материи, из которой оно состоит».

Резюмируя, можно сказать, что «Механика» Эйлера представляет собой ясное и популярное развитие ньютоновых «Начал», воспроизводя даже осторожные заявления их автора о природе сил и расширявая его определения основных понятий: пространства, времени, движения, массы, силы. Эйлер следует в своём изложении именно Ньютону, а не пьюгонианцам, и в его труде (а особенно в последующих трудах) мы не находим и следа влияния Котса, если не считать отдельных высказываний в «Теории движения», явно заострённых против Котса и других, принимающих имматериальные силы. Можно констатировать, что с годами айтиньютонианские тенденции Эйлера возрастали, и в этом отношении несомненно сказывается влияние Ломоносова.

¹ Речь идёт о силах тяготения и электрических и магнитных взаимодействиях, т. е. о силах, действующих на расстоянии.

Существенное значение «Механики» Эйлера заключается и в том, что она представляет переход от громоздких синтетических доказательств Ньютона к новым аналитическим методам. Для определения действия какой-либо силы, действующей на движущуюся точку под углом к её движению, Эйлер разлагает это действие на две составляющие: одну по направлению движения, другую — перпендикулярную скорости. Слагающая силы, перпендикулярная скорости, равна $\frac{Ac^2}{r}$, где A — масса точки, c — её скорость, r — радиус кривизны. Для силы, действующей параллельно скорости, справедливо уравнение живых сил (не называемое Эйлером):

$$npds = acdc,$$

где ds — элемент пути, пройденный движущейся точкой, p — величина силы, n — коэффициент пропорциональности, связанный с выбором единиц. Этот коэффициент в дальнейшем определяется из действия силы тяжести.

Если величина силы тяжести g , то

$$n = \frac{A}{2g}.$$

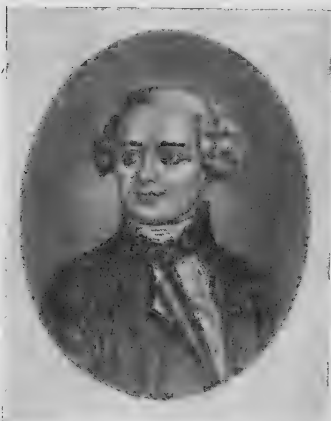
Эйлер полагает в качестве единицы силу веса, точнее говоря, принимает ускорение тела за единицу. В таком случае $n = \frac{1}{2}$.

Рассмотрев таким образом вопрос о действии сил на свободную точку, Эйлер в третьей главе переходит к исследованию прямолинейного движения свободной точки при различных законах действия сил. Здесь Эйлер демонстрирует мощь новых математических методов, интегрируя дифференциальные уравнения второго порядка. При интегрировании он широко пользуется теоремой живых сил — первым интегралом уравнения движения. В четвёртой главе Эйлер рассматривает ещё более трудные с математической стороны задачи «о прямолинейном движении точки в сопротивляющейся среде». Пятая и шестая главы посвящены криволинейному движению свободной точки в пустоте и сопротивляющейся среде. Здесь Эйлер выводит и использует «естественные уравнения движения», т. е. уравнения в сопровождающей системе координат. Глава эта имела самое близкое отношение к важным практическим задачам того времени, к задачам небесной механики и баллистики.

Во втором томе Эйлер исследует несвободное движение точки, рассматривая сначала вопрос «О несвободном движении вообще», т. е. о силах связи, затем о движении точки по данной линии в пустоте и в сопротивляющейся среде и, наконец, «о движении точки по данной поверхности».

В «Механике» Эйлера ещё решались задачи динамики точки. Но уже предшественники Эйлера, Бернулли решали задачи динамики системы. Динамика системы получила в рассматриваемый период общий принцип — принцип Даламбера. Когда Я. Бернулли решал задачу о центре качения физического маятника, он исходил из идеи, что результат действия связей, связывающих частицы маятника, состоит в потере ускорения одними частями и приобретении ускорений другими. Его брат Иоганн в упомянутом уже письме к Вариньону от 24 января 1717 г., определив словом «энергия» произведение силы на проекцию смещения по направлению силы, высказывает утверждение, что в случае действия уравновешивающих сил на систему точек сумма положительных энергий равна сумме отрицательных энергий.

В 1743 г. вышел «Трактат по динамике» Даламбера, где эти идеи доведены до общей формулировки знаменитого принципа.



Даламбер.

Если в системе точек действует совокупность сил F_i и связи, то ускорение, получаемое каждой точкой, не совпадает с тем ускорением, какое получила бы точка под действием тех же сил, будучи свободной. Таким образом, часть движущей силы F_i «теряется» на преодоление сопротивлений связи¹.

Даламбер вводит термин «потерянные силы» для этой части сил и утверждает, что движение системы точек происходит таким образом, то в каждый момент времени потерянные силы и силы связи взаимно уравновешиваются. Это и является формулировкой принципа. Другим общим принципом, установленным в 1744 г., был принцип наименьшего действия, высказанный Мопертюи. Мопертюи исходил из теологических аргументов. Эйлер

уточнил формулировку принципа и дал его два аналитических выражения:

$$\delta \int v ds = 0; \quad \delta \int v^2 dt = 0.$$

«Таким образом, — говорит Эйлер, откликаясь на спор о двух мерах движения, — ни те, кто полагает, что силы следует оценивать по самим скоростям, ни те, кто — по квадратам скоростей, не найдут здесь ничего неприемлемого».

В 1765 г. вышла «Теория движения твёрдых тел» Эйлера, составляющая третий том его «Механики». За время, прошедшее после выхода двух первых томов, многое изменилось. Развились и углубились, как в результате работ самого Эйлера, так и его знаменитых современников, новые математические методы, расширился круг механических задач. Наконец, серьёзную эволюцию испытали воззрения самого Эйлера в сторону большого приближения к картезианским пози-

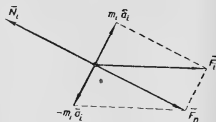


Рис. 140. К принципу Даламбера.

¹ Пусть на точку $\vec{m}_i$ действует сила $\vec{F}_i$ и связь $\vec{N}$ и точка получает ускорение a_i . Сила $F_n = F_i - m_i a_i$ будет потерянной силой. По принципу Даламбера

$$\vec{F}_n + \vec{N}_i = 0 \text{ или } \vec{F}_i - m_i \vec{a}_i + \vec{N}_i = 0.$$

Отсюда вытекает обычное уравнение движения

$$\vec{F}_i + \vec{N}_i = m_i \vec{a}_i.$$

диям, в сторону повышения интереса к философским основам естествознания. Конечно, в такой эволюции сказались возросшее влияние французских материалистов, но несомненно, что значительную роль сыграли и воззрения Ломоносова, с которым Эйлер находился в длительной переписке по узловым вопросам физических воззрений. К этому пункту мы ещё вернёмся впоследствии.

Повышенный интерес Эйлера к общим основам естествознания находит своё выражение в обширном «Введении» к «Теории движения», состоящем из шести глав.

Здесь Эйлер рассматривает основные понятия движения. Попробуем он вводит абсолютное пространство: «с помощью абстракции...мы должны мысленно удалить все тела, и уже то, что, по нашему представлению, после этого останется, мы называем пространством». Однако приближение к картезианству сказывается в усилении релятивизма: «о движении любого тела мы будем судить лишь на основании одного признака, а именно — относительного к другим телам, расположенным по соседству с ним».

И далее. «На пороге механики нам не следует беспокоиться по поводу абсолютного покоя, о котором мы вообще не знаем, существует ли он и в каком именно виде: ведь мы в механике будем подвергать исследованию лишь то, что мы постигаем с помощью наших чувств. Всюду, где у нас идёт речь о покое, наше представление о нём всегда связано с некоторым телом, по отношению к которому, согласно нашему определению, тело — или же, ещё лучше, точка — находится в покое».

«Таким образом, — продолжает Эйлер, — совершенно рушится то знаменитое различие между движением и покоем, которое философы обычно приводят как чрезвычайно существенное для тел, — если, конечно, исходить из относительности движения и покоя. Правда, философы возражают, что условия коренным образом изменяются, когда речь идёт об абсолютном движении и покое, но что представляют собой абсолютные движение и покой, этого они удовлетворительно определить не могут».

Если бы они пожелали вывести эти понятия из отношения к неподвижным звёздам, то от этого движение и покой не перестанут быть относительными, ведь в данном случае будет лишь то отличие от наших определений, что здесь предлагают иное, но всё же определённое тело, по отношению к которому и устанавливаются покой или движение».

Этот пока что кинематический релятивизм Эйлера весьма близко при-
мыкает к релятивизму Декарта, который не знает никакого неподвижного пустого пространства. Вспомним, что Декарт ссылаясь на то, что в его космогонии Земля неподвижна, ибо она неподвижна относительно увлекающего её вихря.

«После того как мы дали определение понятия места, опираясь при этом на наше чувственное восприятие, мы теперь встречаемся также с понятием времени, которое включается в понятие покоя и движения... Однако время протекает независимо от движения, и это даёт нам возможность установить меру времени. Деление времени на части не является чисто умственной операцией, как обыкновенно утверждают те, которые помещают время только в нашем сознании, не отделяя понятия времени от самого времени».

«В самом деле, — говорит Эйлер, — если бы время представляло бы собой не что иное, как последовательность наступающих друг за другом явлений, и если бы вне нашего сознания не существовало никаких средств для измерения времени, то нам ничто не мешало бы при всяком движении считать равными те части времени, в течение которых проходятся равные пути, так как они окажутся следующими друг за другом через

равные промежутки. Следовательно, мы могли бы с одинаковым основанием рассматривать любое движение как равномерное. Однако сама природа вещей достаточно убедительно свидетельствует, что равномерное движение существенно отличается от неравномерного; следовательно, равенство промежутков времени, на котором это основывается, представляет собой нечто большее, чем содержание наших понятий. В силу этого следует прийти к выводу, что равенство времени имеет под собой определённое основание, находящееся вне нашего сознания; и, повидимому, мы скорее познаём его извне — из наблюдений над равномерным движением.

Установив эти фундаментальные понятия, Эйлер в своей кинематике вновь возвращается к принципу непрерывности движения и в связи с ним даёт очень интересное толкование зеноновских «апорий» о движении.

«Когда мы говорим, что по истечении времени t наша точка находится в S , то это выражение допустимо лишь при условии, что мы от слова «находится» отделяем понятие о пребывании и задержке. В просторечии выражение «находиться на каком-либо месте» имеет обычно тот же смысл, что и «оставаться на месте». вследствие чего приобретает наибольшую доказательную силу против существования вообще какого-либо движения следующий старый софизм: «Когда тело движется, то оно движется на том месте, где оно находится». В действительности нельзя утверждать,

Рис. 141. Титул «Теории движения» Эйлера.

ни того, ни другого, и потому приходят к выводу, что тело вовсе не в состоянии двигаться. Первого, конечно, нельзя утверждать, если «на месте, где оно находится», означает то же самое, что «на месте, где оно пребывает, т. е. поконится». Если бы вместо слова «находится» поставить слово «проходит», то всякие затруднения были бы устранены, ибо там, где тело проходит оно, без сомнения, передвигается. Однако указанное выражение кажется недостаточно сильным, чтобы одновременно отменить существование тела или точки в тот момент, когда оно или она проходит через S ; и в то же время понятие существования, применённое к любому месту, повидимому, содержит в себе некоторый оттенок, который совершенно чужд движению.

Почему, если мы не хотим этой терминологией устранить вообще возможность какого-либо движения в природе, то мы должны остерегаться того, чтобы с выражением «быть, находиться или существовать в определённом месте» связывать представление о каком-либо «пребывании». Я буду пользоваться этим выражением только в том смысле, что оно будет означать лишь прохождение через какое-либо место и не более того, — если, конечно, тело находится в движении.

Мы видим, что в своей кинематике Эйлер занимает материалистическую позицию, приближаясь даже иногда к точке зрения диалектического материализма, как в этом последнем, приведённом нами высказывании. Но понятно, что материализм Эйлера — механический; и это особенно

отчётливо выявляется в его динамике, где он вновь возвращается к ньютоновской концепции абсолютного пространства. Рассматривая внутренние начала движения, Эйлер вводит абстракцию «изолированная материальная точка». Эйлер указывает, что подобного рода абстракции необходимы: «если бы их запретить, не осталось бы путей к познанию истины». Для такой изолированной точки справедлив принцип инерции: она находится либо в абсолютном покое, либо в абсолютном равномерном и прямолинейном движении. Таким образом, свойства абсолютного пространства познаются постольку, поскольку справедлива механика Ньютона: «Всякий, кто склонен отрицать существование абсолютного пространства, придёт в величайшее смущение. В самом деле, вынужденный отбросить абсолютный покой и движение как пустые слова, лишённые смысла, он должен будет не только отбросить законы движения, покоящиеся на этом принципе, но и допустить, что вообще не может быть никаких законов движения».

Но Эйлер отступает от динамизма ньютоновцев в вопросе о внешних началах движения. «Причина, вследствие которой абсолютно покоящееся тело начинает двигаться, или же тело, находящееся в абсолютном движении, изменяет свою скорость, либо направление, называется силой». «Сила является внешней причиной», так как тела сами по себе не могут изменять свое состояние. Но если инерция тела исключает возможность изменения состояния самого тела, то это не значит, что она не может быть причиной изменения состояния других тел. Наоборот, по Эйлеру, «именно из самой этой способности отдельных тел сохранять своё состояние следует, что в них должны заключаться силы изменять состояние других тел». Но, для того чтобы возникли такие силы, одной инерции недостаточно, необходимо, чтобы тела не могли проникать друг в друга.

«... Причиной тех сил, вследствие которых изменяется состояние тел, следует считать не только инерцию, но сочетание последней с непроницаемостью». Отсюда, по Эйлеру, «образуется богатейший источник сил, способных непрерывно изменять состояние тел». Касаясь позиции ньютоновцев о существовании нематериального дальнего действия, Эйлер указывает, что «в задачи механики не входит решать, могут ли духи влиять на тела и изменять их состояние. Правда, в самих телах мы не находим ничего такого, что указывало бы на невозможность действия духов. Однако воздействие на тела не представляется столь тяжёлым делом, чтобы его следовало приписать только всемогуществу божественной воли, так как его приходится присвоить самым обычным телам». И хотя Эйлер считает, что у духов трудно оспорить их силу воздействия на тело, но «мы совершенно не в состоянии указать, каким именно образом они действуют». Что же касается самих тел, то они могут действовать только так, как это было указано выше, т. е. по началам непроницаемости и инерции. Иначе пришлось бы допустить некоторое действие на расстояние. «Нужно довольствоваться тем, что найден богатый источник действующих в мире сил. Вместе с тем совершенно ясно, что отсюда происходит и взаимное действие тел, которое многие философы либо совершенно отрицали, либо оставляли в полном мраке».

Итак, Эйлер считает возможным изгнать из механики таинственное дальнее действие ньютоновцев, божественный толчок. Он указывает, что имеется богатый физический источник взаимодействий, если только протяжённую материю Декарта наделить свойствами инерции и непроницаемости.

Через три года в «Письмах» Эйлер будет с ещё большей настойчивостью и определённой развить эту мысль и решительно бороться против дальнего действия ньютоновцев и монадологии Вольфа—Лейбница.

Развивая аналитически понятия динамики, Эйлер пишет уравнения движения точки в декартовых координатах

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{2g}{A} P; \quad \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{2g}{A} Q; \quad \frac{d^2z}{dt^2} = \frac{2g}{A} R,$$

где P , Q , R — компоненты действующей силы.

Ещё в 1758 г. Эйлер установил понятие «момента инерции». Разбирая в «Теории движения» вопросы движения твёрдого тела, он установил, что главные оси инерции (те оси инерции, для которых момент инерции имеет экстремальное значение) совпадают со свободными осями вращения, написал уравнения движения твёрдого тела с неподвижной точкой, используемые и сегодня в теории гироскопов, и тем заложил основы этой теории.

Эйлер не только разрабатывал методы теоретической физики, но и стремился довести решение до практически полезных результатов. Задачей о движении Луны занимались такие выдающиеся математики, как Клеро (1713—1765), автор знаменитого сочинения о фигуре Земли, и Даламбер, но наибольшее практическое применение получила «Теория Луны» Эйлера (1753), на основе которой Тобий Майер составил лунные таблицы.

О большом интересе Эйлера к практическим проблемам свидетельствует сделанный им немецкий перевод с дополнениями сочинения Бенджамена Робинса (1707—1771) по артиллерии («Новые принципы артиллерии», Лондон, 1742 г.). Робинс исследовал влияние сопротивления среды движению снаряда, т. е. занимался вопросами внешней баллистики. Так как это сопротивление во всяком случае является функцией скорости, то Робинс разработал методику определения скорости снаряда в любой точке пути. Для этой цели он сконструировал *баллистический маятник*. Ему удалось установить, что принятый Ньютоном закон сопротивления $F = k \cdot v^2$ справедлив только при относительно малых скоростях и с увеличением скорости сопротивление растёт быстрее, чем v^2 . Он нашёл также, что баллистическая кривая существенно отличается от параболы, и установил не симметричность её восходящей и нисходящей ветвей.

Эйлер перевёл сочинение Робинса под заглавием «Новые основы артиллерии с примечаниями Л. Эйлера»; в примечаниях он подробно разобрал движение снаряда в сопротивляющейся среде, применив методы приближённого интегрирования. В этих исследованиях Эйлер продолжил и дополнил работы Ньютона, так же как он это сделал в своих работах по небесной механике и в теории тяготения, где он нашёл для ряда случаев решение задачи о притяжении эллипсоида, поставленной Ньютоном. Исследования о притяжении эллипсоида, имеющие существенное значение для теории потенциала, были помещены в «Комментариях» Петербургской академии 1738—1746 гг.

Эти исследования, равно как и исследования по механике твёрдого тела, примыкают к общим исследованиям по механике сплошной среды, в которой Эйлер получил также фундаментальные результаты.

Эта область получила мощный импульс в XVIII в. Сюда в первую очередь относится «Гидродинамика» Даниила Бернулли (Страсбург, 1738 г.). В этом сочинении выводится знаменитое уравнение Бернулли, выражающее закон сохранения энергии в применении к стационарному движению идеальной несжимаемой жидкости. Из других результатов этого замечательного сочинения большое значение с исторической точки зрения имеет обобщение с кинетической точки зрения закона Бойля ($p = \frac{nm\bar{c}^2}{3}$), благодаря которому Бернулли по справедливости может считаться одним из основоположников кинетической теории газов.

В своих гидродинамических исследованиях (1752—1754) Эйлер пишет уравнения гидродинамики, известные под названием уравнений Эйлера. Им введена в гидродинамику функция s , которая ныне называется «потенциалом скоростей». Компоненты скорости движущейся частицы жидкости u , v , w выражаются через эту функцию, как частные производные по координатам

$$u = \frac{\partial s}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial s}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial s}{\partial z}.$$

При этом Эйлер нашёл, что функция s удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} = 0.$$

Таким образом, основное уравнение теории потенциала — уравнение Лапласа $\Delta V = 0$ — было впервые найдено Эйлером. Эйлер же в дальнейшем (1770) ввёл и силовую функцию, отличающуюся от потенциальной только коэффициентом и знаком. Исследуя сопротивление жидкости движущемуся в ней телу, Эйлер нашёл закон («парадокс Эйлера»), согласно которому обтекаемое тело, движущееся равномерно в идеальной жидкости, не испытывает никакого сопротивления.

Научное наследство Эйлера огромно, и в кратком курсе изложение всех его результатов невозможно. Мы остановимся ещё только на исследованиях в области теории колебаний.

Изучая сопротивление опоры маятника, Эйлер рекомендовал опорную призму. Он начал изучение связанных колебаний, и известный опыт с связанными маятниками, иллюстрирующий переход энергии от одного к другому, принадлежит ему.

Им выведены дифференциальные уравнения поперечных и продольных колебаний в упругих стержнях. Отсюда он перешёл к рассмотрению колебаний воздушных столбов. Колебания струны изучались Даламбером, нашедшим решение

$$\xi = f_1(x - vt) + f_2(x + vt),$$

где ξ — смещение точки струны, а f_1 и f_2 — некоторые произвольные функции, и Д. Бернулли, написавшим закон стоячих колебаний в тригонометрической форме. Эйлер также в своих работах искал уравнения формы волны в верёвках и струнах методом разложения в тригонометрический ряд.

Акустика в XVIII в. достигла значительных успехов благодаря экспериментальным работам Совера (1653—1716), опубликованных в мемуарах Парижской академии 1700—1730 гг., и теоретическим исследованиям Эйлера. Совер дал метод определения чисел колебаний по биениям, доказал существование обертонов в звучащей струне и дал приёмы их возбуждения, ввёл термины «гармоника», «узлы», «пучности» и определил границы слышимости.

Эйлер дал математическую теорию консонанса. Гармоничные музыкальные интервалы, по Эйлеру, определяются простыми числовыми соотношениями.



Даниил Бернулли.

ношениями чисел колебаний тонов («Новый опыт теории музыки», Петербург, 1739 г.). Отсюда он выводил системы тонов (гамм), из которых одна почти точно совпадает с диатоническо-хроматической гаммой. Он же рассматривал вопросы распространения звука, сложения звуковых волн. О других работах Эйлера и его физических воззрениях мы скажем в связи с работами Ломоносова.

Лагранж завершил дело, начатое Эйлером, и своей «Аналитической механикой» окончательно упрочил новые аналитические методы в механике. Но следует помнить, что так называемые уравнения Лагранжа первого и второго рода были уже написаны Эйлером в его «Механике», «Теории движения твёрдых тел» и в гидродинамических работах. Таким образом, мы с полным правом можем назвать Эйлера истинным основателем теоретической физики.

На этом мы закончим рассмотрение развития механики в XVIII в., хотя наш обзор отнюдь не исчерпал всех результатов этой отрасли физики.

Обратимся теперь к вопросам изучения теплоты. Здесь

Теплота.

прежде всего надо отметить успехи термометрии.

Мы видели в первом томе, что Галилей, Дреббель, флорентинские академики, затем Герики, Бойль, Гук, Ньютон строили термометры и применяли их в экспериментах по теплоте и метеорологии. Но, во-первых, всеобщим убеждением было, что эти приборы измеряют количество тепла, и отсюда вытекала терминология, которую мы находим в сочинениях XVIII в.: «потеряло столько-то градусов тепла» или тело «приобрело столько-то градусов тепла»; во-вторых, термометры различных конструкций не согласовывались друг с другом в показаниях, не было договорённости о принципах градуировки, не были известны законы теплового расширения. Установление постоянных точек термометра было делом XVIII в., измерения же коэффициентов расширения относятся к концу XVIII и началу XIX в.

Существует мнение, что Гук уже знал постоянство точек кипения воды и плавления льда. Известно, что Бойль в работе «Механическое начало тепла» (1665) высказывает убеждение в постоянстве точек плавления всех тел, а Ньютон принял точку плавления снега за 0° своего термометра с льняным маслом, а в качестве другой постоянной точки термометра Ньютон принял температуру человеческого тела — 12° (термометр Ньютона описан в «Phil. Trans.», 1703 г.).

Галлей в статье, напечатанной в «Phil. Trans.» (1693), утверждал закон постоянства точки кипения воды, а в сочинении «Натуральная философия», вышедшем в 1694 г., Ренальдини вынес предложение принять за постоянные точки термометрической шкалы точки замерзания и кипения воды.

Наконец, Ньютон создал первый пирометр, основанный на законе охлаждения нагретого стержня. Сам закон охлаждения

$$-\frac{dQ}{dt} = \lambda(T - T_0) \quad \text{или} \quad -c \frac{dT}{dt} = \lambda(T - T_0)$$

был также найден им (dQ — количество тепла, теряемого за время dt единицей поверхности тела, T — температура тела в момент t , T_0 — температура окружающей среды).

Однако наибольших результатов в развитии термометрии на рубеже XVII—XVIII вв. достиг Гильом Амонтон (1663—1705), опередивший в своих работах по расширению газов Гей-Люссака и соперничавший с Ньютоном в деле основания пирометрии. Амонтон был первым, ясно

высказывавшим мнение, что термометры измеряют не количество тепла, а степень нагретости тела.

В «Парижских мемуарах» 1702 и 1703 гг. было помещено описание воздушного термометра Амонтона. Этот термометр представлял резервуар, сообщающийся с трубкой, открытой сверху. Часть резервуара и колено трубки заполнены жидкостью. Упругость воздуха, заключённого в резервуаре, измеряется высотой выступающего столба жидкости (точнее, избыток упругости над давлением атмосферы). С изменением температуры упругость меняется. Амонтону удалось установить закон, что изменения упругости пропорциональны разностям температур

$$\frac{p}{p_1} = \frac{1 + at}{1 + at_1}$$

Амонтон принял для термометра постоянные точки кипения воды и плавления льда. Он же предложил ввести поправку в показания барометра на тепловое расширение ртути. Правда, эта поправка в то время не имела практического значения.

В 1713 г. в журнале «Acta eruditorum» появилось сообщение Хр. Вольфа о полученных им от Фаренгейта двух спиртовых термометрах с согласными показаниями. Даниель Фаренгейт (1686—1736) работал в Голландии стеклодувом и мастером по изготовлению физических инструментов (в результате успехов опытного знания такая профессия стала возможна) и уже с 1709 г. начал изготавливать спиртовые термометры с согласными показаниями. В 1714 г., ознакомившись с исследованиями Амонтона по расширению ртути, Фаренгейт начал делать и ртутные термометры. За 0° он принял температуру плавления охлаждающей смеси (льда, воды и нашатыря). Температуру смеси и воды он обозначал через 32°, температуру человеческого тела 96°.

Только после 1724 г., когда его способ был им опубликован в «Phil. Trans.», он нанёс точку кипения воды, приняв её за 212°. Шкала Фаренгейта с 0° и 212° как основными точками и доныне ещё применяется в Англии и Америке.

В России с 1731 г. были уже известны термометры Фаренгейта, но наибольшее распространение имели термометры академика Делиля (1688—1768), в которых температура кипения воды принималась за 0°, а температура замерзания за 150°. Ломоносов в своих термометрических работах пользовался шкалой Фаренгейта, Делиля и, гораздо более удобной, своей собственной, в которой за 0° принималась точка замерзания воды, а за 150° — точка её кипения.

В мемуарах Парижской академии за 1730—1731 гг. Реомюр (1683—1757) изложил способ градуирования спиртовых термометров по точкам кипения и замерзания воды, обозначив их соответственно 80° и 0°. Число 80 Реомюр принял потому, что его жидкость расширялась при нагревании от точки замерзания воды до точки кипения на 80/1000 своего первоначального объёма.

Быстрое распространение термометров Реомюра не мешало, однако, заметить несовершенство спирта как термометрического тела, и Делюк (1727—1817) предложил около 1740 г. ртутный термометр с Реомюровой шкалой. В 1742 г. швед Цельсий (1701—1744) ввёл стоградусную шкалу, с точкой кипения 0° и точкой замерзания 100° (Делиль не был оди-

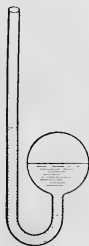


Рис. 142.
Термометр
Амонтона.

нок в своём способе отсчёта градусов), и вскоре, по предложению известного шведского натуралиста К. Линнея, обозначение точек было переставлено.

Таким образом, в первой половине XVIII в. были сконструированы практически употребительные термометры и тем самым был сделан важнейший шаг в деле количественного изучения тепловых явлений.

Следующим шагом в этом направлении была выработка основных калориметрических понятий. В первой половине XVIII в. ещё не существовало различия между измерением температур и измерением количества

тепла. Исходным пунктом в развитии калориметрии послужили исследования Петербургского академика Рихмана, напечатанные в «Новых комментариях Петербургской академии» (т. I, 1750 г.; т. III, 1753 г.; т. IV, 1758 г.).

В 1744 г. петербургский академик Г. В. Крафт сделал в конференции академии доклад о тепле и холоде, в котором он предложил определить температуру смеси горячей и холодной воды по формуле:

$$x = \frac{\gamma am + \delta bn}{\gamma a + \delta b};$$

здесь a и b — массы смешиваемых объёмов воды, m и n — их температура, γ и δ — некоторые коэффициенты, которые Крафт из опыта нашёл равными 11 и 8, так что его формула окончательно получила вид

$$x = \frac{11am + 8bn}{11a + 8b}.$$

Таким образом, казалось бы, что Крафт в своей формуле дал общее выражение, учитывающее фактор теплоёмкости. Однако он обесценил свой результат, приписав на основании единичного опыта своим коэффициентам раз навсегда данные числовые значения.

В том же 1744 г. Рихман доложил конференции работу под заглавием «Размышления о количестве теплоты, которое должно получаться при смешивании жидкостей, имеющих определённые градусы теплоты», напечатанные в I томе «Новых комментариев» за 1750 г. В этой работе Рихман даёт вывод калориметрической формулы, носящей его имя. Формула эта в обозначениях Рихмана имеет вид:

$$\frac{am + bn + co + dp + eq \text{ и т. д.}}{a + b + c + d + e \text{ и т. д.}}$$

где a, b, c, d, e и т. д. — массы однородной жидкости, m, n, o, p, q и т. д. температуры этих масс. Рихман указывал, что при экспериментальной проверке этой формулы необходимо принимать во внимание массы сосуда и термометра, температуру окружающего воздуха, время, в течение которого производится опыт, и другие обстоятельства. «Вот сколько предосторожностей приходится принимать в этих опытах, чтобы произвести их надлежащим образом», — писал Рихман. Это указывает, что Рихман был основателем калориметрии. В дальнейшем он продолжал свои калориметрические исследования и, в частности, производил вместе с Ломоносо-



Георг Рихман.

вым опыты по определению теплоёмкостей минералов. Об этих опытах Ломоносов писал в своём отчёте за 1753 г.: «С покойным проф. Рихманом делал физико-химические опыты для исследования градуса теплоты, который на себя вода принимает от погашённых в ней минералов, прежде раскалившихся».

Далее Делюк, экспериментируя со льдом зимой 1754—1755 гг., открыл важный факт, что температура сосуда со льдом, поставленного на огонь, повышалась только до 0° и в дальнейшем оставалась неизменной, несмотря на приток огня, до тех пор, пока лёд обращался в воду.

Химик Блек в Глазго (1728—1799), проверяя правило Рихмана для смеси куска льда при 32°F и воды равного веса при 172°F , нашёл среднюю температуру не 102°F , а 32°F . Отсюда Блек сделал вывод, что на плавление льда требуется теплота, не отмечаемая термометром, вследствие чего он обозначил её термином «скрытая теплота». Исследования Делюка были опубликованы им только в 1772 г., а о результатах Блека сообщил в 1778 г. Крауфорд. В это время калориметрическими измерениями занимался Вильке (1732—1796). В точности не установлено, знал ли Вильке об опытах Блека, во всяком случае он пришёл к выводу, что при смешивании равных масс воды и льда при температуре плавления теряется 72° тепла, а при неравных массах формула Рихмана должна быть заменена формулой $t = \frac{m_1 t_1 - 72 m'}{m_1 + m'}$ (градусы выражаются в шкале Цельсия, m' — масса льда при 0°C). Далее Вильке исследовал, как меняется температура смеси льда и нагретого тела, если воду заменить другим телом, и отсюда мог вычислить удельные теплоты тел, приняв удельную теплоту воды за 1. Следует отметить, что термин «теплоёмкость» был введён учеником Блека Ирвингом, а термин «удельная теплота» — Гадолдином в 1784 г. Самый способ определения теплоёмкостей по методу смешения, применявшийся Блеком и Вильке, был описан врачом Крауфордом в сочинении «Наблюдения и опыты над животной теплотой» (Лондон, 1779 г.), являющемся одной из основоположных калориметрических работ.

Более точным методом в то время был метод, предложенный в 1777 г. Лавуазье и Лапласом, которые сконструировали так называемый ледяной калориметр (рис. 143). Этот калориметр состоит из внешнего сосуда A и двух внутренних B и b , последний сделан из проволоочной сетки. Внешний сосуд A заполнен толчённым льдом, во внутренний сосуд b помещалось испытуемое тело, нагретое до температуры t . Лёд помещался также на крышках внутренних сосудов. Через отверстие r , сделанное внизу, вода, образовавшаяся от таяния льда, стекала в подставленный сосуд. Определив её вес, можно было определить теплоёмкость тела.

Ясно, конечно, что и этот способ был ещё слишком груб, калориметрическая техника только зарождалась, но уже сделанные шаги имели существенное значение. Для того времени калориметрические измерения являлись экспериментальной поддержкой выдвинутой Вольфом, и в особенности Вильке и Блеком, теории теплорода.

Мы не останавливаемся на физике газов и паров, метеорологии, хотя в последней были достигнуты значительные успехи и хотя этим вопросам уделялось большое внимание в рассматриваемый период. Обратимся к рассмотрению электрических и магнитных явлений.

Учение об электричестве вышло, наконец, из зачаточного состояния, и основания электростатики были заложены.

Необычайный интерес к электрическим явлениям, особенно резко выраженный в сороковых годах и отмечаемый всеми историками физики,

не находил своего оправдания в конкретных практических потребностях эпохи. Он явился логическим результатом развития экспериментального метода, его расширением на новую область, а для широких кругов ассоциировался с теми «курьёзами», о которых мы имели уже случай говорить в связи с автоматикой. Существенную роль в этом интересе сыграло открытие электрической искры. Это открытие было сделано в связи с фосфоресценцией д-ром Волом (Wall), натиравшим большой кусок янтаря и получившим, как он описывал в 1698 г. в «*Phil. Trans.*», «искру почти в дюйм длинной. При этом раздавался такой звук, точно в печке треснул кусок угля».

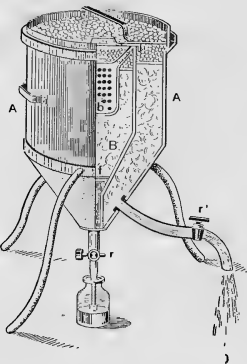


Рис. 143. Калориметр
Лавуазье—Лапласа.

Другим новым явлением было открытое в 1675 г. Пикаром свечение ртутного столба барометра при встряхивании, которое также считали одним из видов фосфоресценции. Эти эффекты стимулировали дальнейшие изыскания и в частности многочисленные эксперименты Гауксби (Hawksbee), описанные им в вышедшем в Лондоне в 1709 г. сочинении «Новые физико-механические опыты о различных предметах, касающихся света и электричества». Гауксби воскресил машину Герике, с заменой серного шара стеклянным. Из шара он выкачивал воздух, приводя этот шар в быстрое вращение, и натирал его рукой. При этом он заметил сильное свечение шара. Приближая к шару палец, он извлекал искры с характерным треском. Получение сравнительно мощных искр, электрические свечения в разреженном пространстве, реконструкция электрической машины — вот существенные результаты опытов Гауксби.

Следующий шаг был сделан Стэфаном Греем (1670—1736) в 1729 г. Грей нашёл, что электрическое состояние

натёртой стеклянной трубки распространяется и на пробку, которой была заткнута трубка, а воткнув в пробку четырёхдюймовую деревянную палочку с костяным шариком на конце, он обнаружил распространение электричества и на этот шарик. Далее ему удалось передавать электризацию по бечеве на расстояние 26 футов.

Пытаясь передать электризацию в горизонтальном направлении, он прикреплял свободный конец бечёвки с шариком к крыше. Наэлектризованное тело, соединённое с бечёвкой, при этом разряжалось. По совету своего друга Уилера, Грей наэлектризовывал изолированного от земли ребёнка и тем самым впервые поставил под сомнение утверждение Гильберта, что тела разделяются на «электризирующиеся по природе» и «не электризирующиеся», к которым Гильберт относил металлы, человеческое тело, тело животных. Однако впервые доказательство электризации металлов трением было дано Г. В. Рихманом. Грей сообщил электризацию металлам, прикасаясь к ним наэлектризованным телом, и потому почти в течение всего XVIII в. существовало мнение, что проводники — тела «не электрические» в том смысле, что они не электризуются трением. Рихман осуществил опыт электризации изолированных проводников трением. Но эти опыты Рихмана оставались неизвестными, и в дальнейшем В. В. Петров

в работе «Новые электрические опыты», вышедшей в 1804 г., высказал утверждение, что «все металлы могут соделываться электрическими, без сообщения их с другими наэлектризованными телами... если над ними будет произведено стегание». Понадобилось свыше 70 лет после Грея, чтобы опровергнуть классификацию Гильберта, причём ещё и после Петрова высказывались мнения, что металлы не могут электризоваться трением, а когда электризация металлов трением стала общеизвестным фактом, то открытие этого факта приписывалось Грею, хотя Грей такой электризации

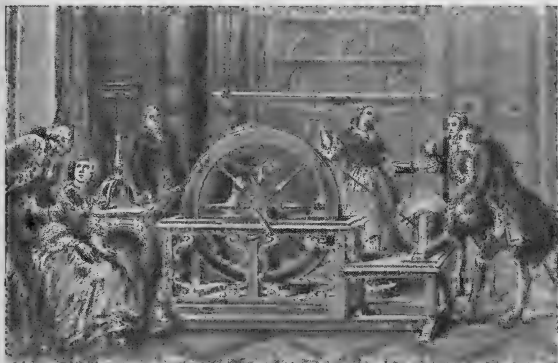


Рис. 144. Электрические опыты в XVIII в.

не осуществил. Точно так же часто утверждают, что Грей ввёл понятие о проводниках. Грей открыл или, лучше сказать, «переоткрыл» (вслед за Герике) факт распространения электризации по некоторым телам, но самый термин «проводник» был введён Дезагюлье (1683—1744) — профессором физики в Оксфорде, занимавшимся, как это нередко бывало у англичан, «по совместительству» и богословием, сделавшись под конец придворным капелланом принца Уэльского.

В своих исследованиях по электричеству, помещённых в «Phil. Trans.» за 1739—1742 гг., он разделяет все тела на «электрические по природе» и «проводники». Как видно из этой терминологии, отход от гильбертовской традиции был очень медленным, так сказать «ступенчатым», и опыты Петрова были весьма актуальными даже и для периода «гальванизма».

Так, например, в книге Кузения «Начальное основание физики», переведённой на русский язык академиком Севергиным и вышедшей в русском переводе в 1800 г. (за четыре года до книги Петрова), первый параграф главы об электричестве так и называется: «Разделение тел на начальное-электрические и производное-электрические», причём эту классификацию автор характеризует следующим образом:

«Тела разделяются на начальное-электрические (Idio-electriques), электризующиеся трением, и на производное-электрические (An-electriques),

электризующиеся только чрез сообщение, т. е. чрез соприкосновение или весьма великую приближённость к телам начальноэлектрическим. К первым причисляются все смолы, сера, воск, стёкла, алмаз, кристалл, большая часть драгоценных камней, шёлк, шерсть животных, вода в виде льда. Тела производноэлектрические суть: вода в жидком виде, земли, металлы, животные. Оные называются также проводниками электричества...»

Следует отметить, что тот же Грей новым опытом подтвердил мысль Гильберта о независимости, разнохарактерности электрических и магнитных явлений. Наэлектризованный ключ притягивает лёгкие предметы независимо от того, притягивается он сам магнитом или нет. «Электрическая природа» не действует на «магнитную природу», и наоборот.

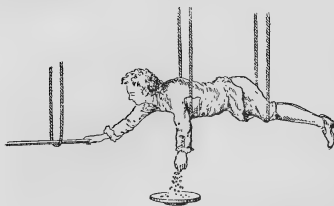


Рис. 145. Опыт с электризацией человека.

Исследования Грея оказали большое влияние на французского физика Дюфея (1698—1739), исследования которого по электричеству, включавшие и историю вопроса, были опубликованы в Парижских мемуарах за 1733—1737 гг. Дюфей проверил выводы Грея и дополнил их наблюдением электрической искры, извлекаемой из наэлектризованных проводников, в том числе из своего собственного тела.

Дюфей сконструировал прибор, являющийся прототипом электроскопа, в виде расходящихся при электризации нитей. Наиболее важным результатом исследований Дюфея было открытие им правила, или, как он выражается, «принципа». «Этот принцип, — пишет Дюфей, — состоит в том, что имеется два существенно различных вида электричества; одно из них я назову стеклянным, а другое смоляным. Первое появляется на стекле, драгоценных камнях, волосах, шерсти и пр., а другое — на янтаре, гуммилаке, шёлке и т. д. Отличительным признаком обоих электричеств служит то, что однородные электричества отталкиваются, а разнородные взаимно притягиваются».

На примере Дюфея мы вновь можем убедиться, как медленно проби- вали себе дорогу в этот период эмпирических исканий, поисков «курльзов» научные гипотезы и выводы. Гипотеза о двух родах электричества, оказавшаяся столь плодотворной и ныне превратившаяся в основной научный факт, была забыта и вновь выдвинута позднее Саймером в 1759 г.

Внимание физиков сороковых годов привлекли три обстоятельства: 1) новые конструкции электрических машин, 2) новые способы получения электричества в больших количествах, 3) исследование атмосферного электричества.

Первый проект машины Гаузена в Лейпциге, описанный им в 1743 г., по существу был развитием машин Герике—Гауксби, только стеклянный шар Гаузена приводится во вращение рукояткой.

Бозе показал, что действие машины можно усилить кондуктором, в виде жестяной трубки. Дальнейшее усовершенствование было введено Винклером (1703—1770), который по совету токаря Гислинга заменил ручное натирание шаров трением о подушечки, прижимавшиеся к натираемым шарам или цилиндрам винтами (позднее пружинами). Образцом элек-

трических машин XVIII в. может служить машина, описанная Эйлером в его «Письмах к пемецкой принцессе».

Получив более мощные источники электричества, прежде всего занялись эффектом получения огня с помощью электричества. Электричеством зажигали эфир, спирт, фосфор, порох, водку. Особенно большое внимание привлекло открытие новых способов получения сильных электрических эффектов. Это открытие было сделано независимо друг от друга Клейстом осенью 1745 г. в Померании и в начале 1746 г. в Лейдене Мусенброком (1692—1761). Клейст обнаружил, что если в медицинскую склянку с небольшим количеством ртути опустить гвоздь и наэлектризо-

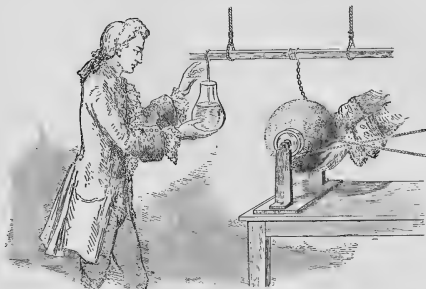


Рис. 146. Лейденский опыт.

вать его, то, если держать склянку в одной руке и прикоснуться к гвоздю другой, получается сильная искра и чувствительный удар в руке.

«Лейденская банка» быстро привлекла всеобщее внимание.

Этому немало способствовало сенсационное сообщение Мусенброка. В письме к Реомюру он описывал свой опыт в следующих выражениях: «Хочу сообщить вам новый и страшный опыт, который советую самим никак не повторять. Я делал некоторые исследования над электрической силой и для этой цели повесил на двух шнурах из голубого шёлку железный ствол, получавший чрез сообщение электричество от стеклянного шара, который приводился в быстрое вращение и натирался прикосновением рук. На другом конце *B* свободно висела медная проволока, конец которой был погружён в круглый стеклянный сосуд *D*, отчасти наполненный водой, который я держал в правой руке *F*, другою же рукой я пробовал извлекать искры из наэлектризованного ствола. Вдруг моя правая рука была поражена с такой силой, что всё тело содрогнулось, как от удара молнии. Сосуд, хотя и из тонкого стекла, обыкновенно сотрясением этим не разбивается, и кисть руки не перемещается, но рука и всё тело поражаются столь страшным образом, что и сказать не могу; одним словом, я думал, что пришёл копец...»

Заклинания Мусенброка возымели обратное действие: «лейденский опыт» повторялся и совершенствовался. Випклер изготовил батарею, Гралат в Дании заменил медицинские склянки большими бабками и, составляя батарею, добивался эффективного удара в цепи из 20 человек. В Англии Уатсон (1715—1787) в сотрудничестве с Бевисом, Грегамом и другими

пытался определить скорость течения электричества, удлиняя разрядную цепь до двух миль. Опыты не дали положительного результата, зато удалось подметить различную проводимость проводников и внести ряд изменений в конструкцию бавки, которая по предложению Бевиса стала обкладываться с обеих сторон станиолевыми или свинцовыми листами, т. е. банка приобрела современную форму.

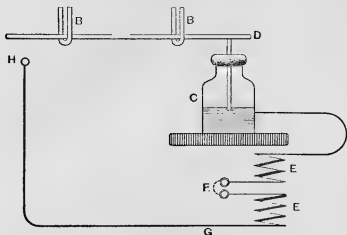


Рис. 147. Опыт по измерению скорости электричества.

Ингенгоуз (1730—1799), прибор которого по теплопроводности и доныне составляет принадлежность школьных физических кабинетов.

Эффекты новых приборов послужили базой, на которой сложилось учение об атмосферном электричестве. Мысль об электрической природе

Эволюция машины трения в форму машины с плоскими дисками завершилась позднее в результате работ механика Рамсдена в 1766 г.; на приоритет изобретения этого типа машин претендовал Планта и врач

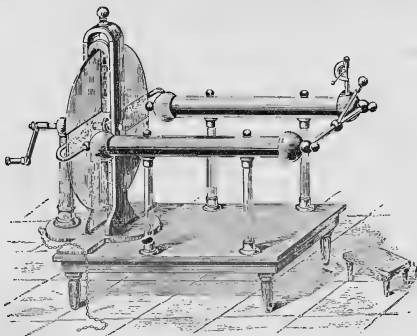


Рис. 148. Дисковая электрическая машина.

молнии стала казаться вполне естественной, и если Розенбергер в своей «Истории физики» говорит, что впервые утверждение о только количественном отличии молнии от электрической искры было высказано Винклером в 1746 г., то Ломоносов с полным правом утверждал, что идеи об электрической природе не только молнии, но и северного сияния были выдвинуты в оде «Вечернее размышление о божьем величии» раньше Франклина (а следовательно, и раньше Винклера). Надо заметить, что попытки

Мерана объяснить северное сильное проникновением в земную атмосферу солнечной атмосферы и Эйлера излучением земной атмосферы под действием солнечных лучей были совершенно несостоятельны. Гений Ломоносова и в этом вопросе далеко опередил свой век. Однако систематические наблюдения над атмосферным электричеством Рихмана и Ломоносова в России начались после того, как были получены сообщения об аналогичных опытах Франклина.

Наиболее замечательным фактом в истории наук этого периода является факт нового и значительного расширения культурных связей. Энгельс отмечал как одно из преимуществ конца средневековья по сравнению с древним миром включение в культурно-историческую связь, вместо узкой приморской полосы, всей Европы, включая Польшу. Теперь в дело научного прогресса включились Россия и Америка. Основоположниками наук в этих странах стали Ломоносов и Франклин.

Бенджамин Франклин родился 17 января 1706 г. в семье мыловара в окрестностях Бостона. Он рано начал трудовую деятельность, поступив учеником в типографию брата. Двадцати четырех лет от роду Франклин завёл свою типографию в Филадельфии.

Любознательный, неустанно работающий над собой юноша стремится удовлетворить свою жажду знаний не только книгами, но и путём научного общения. Им было создано научное общество в Филадельфии, из которого выросло оформившееся в 1769 г. знаменитое американское научное учреждение «American Philosophical Society of Philadelphia», труды которого начали выходить с 1771 г. и выходят по сие время («Франклиновский журнал»). В этом обществе Франклин начал с 1745 г. свои занятия по электричеству, прославившие его в учёном мире.

Но Франклину пришлось исполнять свой долг гражданина и государственного деятеля. С 1752 по 1756 г. и с 1764 по 1775 г. он был представителем Северо-Американских колоний в Лондоне, защищая интересы своей родины перед метрополией. Когда же в 1775 г. вспыхнула война за независимость, Франклин принял активное участие в этой борьбе.

Отправившись в 1776 г. в качестве посла Американской республики в Париж, он добился заключения союза с Францией, чрезвычайно важного для молодой Республики. Он принимал участие в выработке «Декларации независимости», при его участии был заключён мир с Англией в Париже в 1782 г., и этим актом была признана независимость Соединённых Штатов. Он был членом первого Конгресса. Политическую деятельность Франклин оставил в 1788 г. 82 лет от роду, за два года до смерти, последовавшей 17 апреля 1790 г.

Заслуги Франклина в развитии учения об электричестве неоспоримы. Ему принадлежит первая (если не считать Дюфея) теория электрических явлений, с успехом применённая для объяснения действия лейденской банки; эту теорию Франклин иллюстрировал своим плоским конденсатором («Франклинова доска»). Ему же принадлежит и предложение практи-



Бенджамин Франклин.

чески использовать электрические свойства тел (громоотвод), правда, впервые примененные не им, а французом Далибаром в 1752 г. Его общеизвестный опыт со змеем послужил поводом к стиху: «он отпаял молнии у небес и меч у тиранов».

Однако главное заключается не в самих его теориях, опытах и предположениях, которые при тогдашних средствах сообщения нередко перекрывались другими, а в их стимулирующем значении.

Опыты и теории Франклина горячо обсуждались, проверялись, и это обстоятельство привело к дальнейшим успехам в изучении электрических явлений. Причина такого успеха Франклина заключается в несомненном популярizerском таланте его, выразившемся, между прочим, в издании многочисленных журналов, альманахов и книг для народа. Деви отмечал, что Франклин говорил «одинаково хорошо и для физика-специалиста и для физика-любителя... он оставался одинаково ясен и занимателен, прост и приятен».

Его исследования сообщались им в Европу в виде писем к члену Лондонского королевского общества Коллинсону, посылавшихся в промежутке от 28 июля 1747 г. до 18 апреля 1754 г. Мы остановимся на его теории электрических явлений.

Основная идея франклиповской теории заключается в допущении существования универсальной электрической материи, *не наблюдаемой* в телах в их нормальном состоянии¹. Тело, получившее в результате трения или соприкосновения избыток электрической материи, оказывается, по терминологии Франклина, наэлектризованным *положительно*, тело, потерявшее часть материи, электризуется *отрицательно*. Так, по Франклину, стекло электризуется положительно, смола — отрицательно. Тела, наэлектризованные одинаково, отталкиваются, разноименно — притягиваются. Электрическая материя Франклина удовлетворяет принципу сохранения: изолированный человек, патирующий стеклянную палочку, не обнаруживает электрических свойств, но если другой изолированный человек извлечёт из палочки искру, то оба они оказываются заряженными.

Франклин показал, что обкладки лейденской банки наэлектризованы разноименно. Это происходит следующим образом: при зарядке внутренней обкладки её заряд влияет через стекло на электричество противоположной обкладки, отталкивая одноименное электричество в землю, в результате чего наружная заземлённая обкладка оказывается заряженной отрицательно. Наружное равновесие электричества восстанавливается при разряде, который может быть осуществлён сразу, либо по частям. Сам Франклин осуществил разряд последнего типа с помощью маленького пробкового шарика, подвешенного на нити, переносящего электричество с одной обкладки на другую. Из теории Франклина вытекало, что роли обеих обкладок равноправны, что он и не замедлил доказать, заземлив внутреннюю обкладку и зарядив наружную.

Особенно замечательно, что Франклин прежде Фарадея осуществил знаменитый опыт с разборным конденсатором и обнаружил сохранение электрического состояния в стекле после снятия обкладок.

Видоизменяя опыт с разрядом банки электрическим маятником, Франклин сначала осуществил разряд с помощью такого маятника двух противоположно заряженных банок, а затем поместил между банками горизонтальное колесо из четырёх стеклянных спиц, заканчивающихся металлическими

¹ Своеобразную эволюцию франклиповская идея универсальной, не наблюдаемой сущности претерпела в наши дни в виде гипотезы Дирака о ненаблюдаемом электронном «фоне».

париками, насаженными на вертикальное остриё. Колесо приходило во вращение. Это был прообраз электрического двигателя.

Очень важным открытием Франклина было открытие разрядных свойств металлического острья. Это открытие и послужило толчком к знаменитым опытам по извлечению электричества из заряженных облаков. В 1749 г. Франклин писал по этому поводу: «Чтобы разрешить вопрос, наэлектризованы ли грозовые облака или нет, я хочу предложить опыт, который можно сделать на местах, где к тому представляются удобства. Поставим на вершине высокой башни или подмостков будку такой величины, чтобы она могла вместить человека и электрическую скамейку. (Франклин имеет в виду скамейку с изолирующими ножками). От середины скамейки проведём, выгнутый его через отверстие дверей, вертикально в высоту железный шест футов в двадцать или тридцать длиной с заострённым на верхушке концом. Если будем заботиться, чтобы скамейка была чиста и суха, то человек, на ней стоящий, наэлектризуется во время низкого прохождения облаков и станет давать искры, ибо шест приведёт (электрический) огонь из облаков. Если желаем предохранить наблюдателя от опасности, в чём, впрочем, полагаю, не будет надобности, — то сделаем так, чтобы он стоял не на скамейке, а на полу будки и помощью сургучной ручки приближал от времени до времени к шесту проводку с кольцеобразно загнутым концом, тогда как другой её конец прикреплён к проводящим телам. Когда шест наэлектризуется, из него будут высккивать искры в проволоке, минуя наблюдателя». Эти опыты были осуществлены в 1752 г. Далибаром во Франции, подтвердившим предположения Франклина. Сам Франклин в том же году осуществил новый вариант этого опыта, запустив в грозовую тучу змей с остриём. Из смоченной верёвки извлекались искры.

Франклин предложил использовать свойства острья для громоотвода. Принцип громоотвода он иллюстрировал следующим изящным опытом. К потолку на верёвке подвешивалось коромысло весов длиной более двух футов, к концам которого на шелковых пинурках подвешивались чашки, отстоящие от пола на расстоянии около фута. Закручиванием верёвки можно было привести их во вращение. Железный молоток вбивался в пол так, чтобы чашки при вращении проходили над ним. Одна из чашек электризовалась. При вращении коромысла эта чашка, проходя над молотком, приближалась к нему, и если расстояние было достаточно близко, то между ею и молотком проскакивал огонь. «Но если укрепить на конце молотка иголку так, чтобы она стояла вертикально, то чашка, вместо того чтобы притягиваться молотком и давать искру, незаметно отдаёт своё электричество острию и над молотком поднимается выше». Чашка в опыте Франклина моделирует облако, молоток — здание. «Если это так, — говорит Франклин, — то нельзя ли воспользоваться знанием силы остриёв, дабы защитить дома, церкви, корабли от ударов молнии». Однако, чтобы осуще-

TENTAMEN THEORIÆ
ELECTRICITATIS
ET
MAGNETISMI.

Accedunt Dissertationes duæ, quarum prior,
phenomenon quoddam electricum, altera,
magneticum, explicat.

AUCTORE

F. V. T. AEPINO

Acad. Scient. Imper. Petropolitane, Regiæ Berolinens. et
Elect. Mogunt. Erford. Membr.

Inter Supplement. Comment. Acad. Imper. Petropolitane

PETROPOLI

TYPI ACADEMIÆ SCIENTIARVM.

Рис. 149. Титул трактата Эпинуса

ствить предложение Франклина, понадобилась жертва науки — смерть петербургского академика Г. В. Рихмана.

Георг Вильгельм Рихман родился 11 июля 1711 г. в г. Пярну (Эстония). После окончания Ревельской (Таллинской) гимназии он учился в университете в Галле и Иене, затем из-за материальной необеспеченности поступил воспитателем к детям известного дипломата А. И. Остермана, но вскоре стал студентом академического университета при Петербургской академии наук по классу физики. Через пять лет (в 1740 г.) он был уже адъюнктом академии, работая у Г. В. Крафта (1701—1754), помогая последнему в организации физического кабинета.

В 1743 г. Крафт ушёл в отставку; на его место был назначен Рихман. В это время Рихман усиленно занимается теплофизикой. Он разработал метод калибровки термометра, заложил, как было уже сказано выше, основы калориметра, изучал охлаждение тел, в частности, охлаждение увлажнённого термометра, влияние движения воздуха на скорость испарения и т. д.

С 1745 г. Рихман начал заниматься опытами по электричеству. Он впервые начал количественное изучение электрических явлений, построив первый электроскоп — «электрический указатель». Прибор Рихмана состоит из железной линейки, против ребра которой подвешена льняная нить длиной 45 см, весом 33 мг. Внизу устроен деревянный квадрант с делениями. С помощью этого прибора Рихман впервые исследовал электрическое поле, которое он называл «тончайшей возбуждённой материей», окружающей наэлектризованные тела.

Рис. 150. Микроскоп XVIII в.

Найденная недавно работа Рихмана показывает, как далеко продвинулся он в области изучения электрических явлений. Он наэлектризовывал металлы трением, открыл электризацию влиянием, изучал электрический разряд. В дальнейшем Рихман работал в сотрудничестве с М. В. Ломоносовым и вместе с ним летом 1753 г. готовил академическую речь об атмосферном электричестве. 26 июля 1753 г. Рихман был убит во время наблюдений грозы, которую он исследовал своей «громовой машиной» у себя на квартире. «Умер господин Рихман прекрасною смертью, исполняя по своей профессии должность. Память о нём никогда не умолкает», — писал М. В. Ломоносов по поводу трагической гибели своего друга и соратника.

Весть о гибели Рихмана произвела огромное впечатление в Европе и Америке. Именно под впечатлением этого известия чехословацкий учёный Прокопий Дивиш (1696—1765) устроил в 1754 г. первый громоотвод.

Независимо от Рихмана ряд его важных результатов получили Джон Кантон (1718—1772), сконструировавший электроскоп из двух лёгких бузиновых шариков на льняных нитях. С этим электроскопом он обнаружил также электрическую индукцию и электрическую «атмосферу» вблизи наэлектризованных тел.

Иоганн Карл Вильке (1732—1796) обнаружил, что нейтральное тело можно наэлектризовать влиянием, прикоснувшись к нему на короткое время, когда оно находится в электрическом поле, проводником. При этом тело оказывается наэлектризованным электричеством, противоположным

по знаку заряду влияющего тела. Вильке, как и петербургский академик Эйнуус, о замечательных трудах которого мы скажем ниже, придерживался унитарной теории Франклина.

В 1759 г. были опубликованы в «Phil. Trans.» исследования Саймера (Symer), в которых выдвигалась новая дуалистическая теория, точнее, восстанавливались забытые идеи Дюфея. Эта теория оказалась удобной франклиновской, в особенности при объяснении явления истечения электричества с острия, которое происходит как в том случае, когда острие пазлектризовано положительно, так и в случае его отрицательной электризации.

Таким образом, результаты исследований электрических явлений оказались весьма плодотворными. Были установлены основные факты: существование проводников и изоляторов, два рода электричества, электрическая природа молнии. Были построены и усовершенствованы электрическая машина, лейденские банки, электроскопы. Были сформулированы первые качественные теории электрических явлений. Смелые попытки исследовать природу молнии лучше всего свидетельствовали о большом пути, пройденном человеческой мыслью. Прошли времена, когда молнии и гром пугали людей и являлись прерогативой богов всех религий; приближалось время, когда грозная электрическая сила, укрощенная и послушная, должна была стать слугой людей.

Оптика.

После пышного, многообещающего расцвета оптики в XVII в. наступил период её упадка. В теоретическом отношении XVIII век характеризуется преобладанием корпускулярной теории, хотя Эйлер и Ломоносов выступали в защиту гюйгенсовских воззрений. Замечательные исследования Ньютона по дисперсии, интерференции и поляризации света не были продолжены. Всё же XVIII век исправил одно заблуждение Ньютона, допускавшего одинаковую диспергирующую способность всех тел и в связи с этим отрицавшим возможность построения ахроматических объективов. Эйлер возражал (правда, не совсем основательно) ссылкой на пример глаза и напряжённо работал над теоретическими расчётами ахроматических объективов. В 1757 г. Джон Доллонд, воодушевлённый идеями Эйлера, построил первую ахроматическую трубу с объективом, изготовленным из крокиасовой и флинт-гласовой линз, а в 1758 г. — трубу с тремя линзами. Интересно отметить, что ахроматические объективы привлекали большое внимание как теоретиков, так и практиков, и, как это нередко бывает в таких случаях, — приоритет Доллонда оспаривался. Перед запросами жизни оказался бессильным даже авторитет Ньютона.

Эти запросы определили и возникновение новой отрасли оптики *фотометрии*. Появилась потребность в количественной характеристике источников света как для научных целей (в первую очередь в астрономии), так и для бытовых.

Первое сочинение по фотометрии появилось в 1729 г. Это были «Оптические опыты по градации света» Буге (1698—1758). Буге сравнивал источники, добиваясь одинаковой освещённости двух рядом стоящих экранов. Буге первый начал исследовать отражательную и поглодательную способность тел. Он установил зависимость отражательной способности тел от угла падения и нашёл закон поглощения: интенсивность света убывает с толщиной поглощающего слоя в геометрической прогрессии ($I = I_0 e^{-kd}$). Он сравнивал яркости Солнца и Луны, измерял яркость небесного свода на разных расстояниях от Солнца.

Основные законы фотометрии были установлены Ламбертом (1728—1777), главный труд которого «Фотометрия или об измерениях».

и сравнениях света, цветов и теней» вышел в 1760 г. В этом труде Ламберт устанавливает основные понятия фотометрии: сила света, яркость источника света, освещённость, видимая яркость. Далее он устанавливает закон освещённости, которая оказывается обратно пропорциональной квадрату расстояния от точечного источника и в случае наклонного падения пучка лучей на освещаемую поверхность пропорциональна косинусу угла, образованного направлением пучка с нормалью к поверхности. Затем он даёт закон для силы света источника, которая пропорциональна яркости источника, площади светящейся поверхности и квадрату синуса угла наклона лучей к поверхности. Силы света источников Ламберт сравнивал с помощью теневого фотометра (изобретение этого прибора обычно приписывается Румфорду).

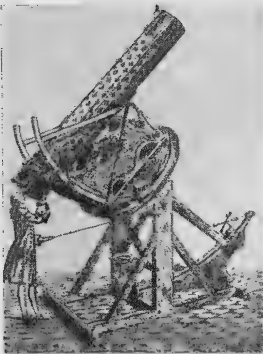


Рис. 151. Телескоп XVIII в.

Из других оптических вопросов много внимания уделялось физиками XVIII в. явлениям люминесценции. Свечение фосфоров часто связывалось с свечением электрического характера, вроде северных сияний, свечения барометров, свечения при истечении электричества с острия и т. д. Большое количество наблюдений не пролило света на это загадочное явление. Законы фосфоресценции и флуоресценции стали известными только в результате исследований Бенкереля, Стокса и других деятелей XIX в.

В нашем обзоре, далеко не полном, нам неоднократно приходилось обращаться к учёным, деятельность которых прямо или косвенно была связана с работой Петербургской академии наук. Возникновение этой академии и её работа имели важное значение для научного прогресса в XVIII в., в связи с чем мы рассмотрим развитие науки в России подробнее.

Наука в России до Петра.

Русская наука о природе начинается с Ломоносова — он является её основоположником. Ломоносов — активный участник того великого прогрессивного переворота, который открывается именами Коперника и Галилея, продолжается Декартом, Гюйгенсом и Ньютоном и завершается Эйлером и Ломоносовым. Ломоносов — это деятель того типа титанов, о которых писал Энгельс в своём знаменитом «Старом предисловии к диалектике природы»; он отчётливо сознаёт свою духовную связь с этими деятелями, покончившими с «варварским веком» в науке. Но он же сам говорит о себе, что его нельзя сравнивать ни с Картезием, ни с Ньютоном, у него свои черты, своё призвание, своя роль в научном прогрессе. Деятельность Ломоносова поистине грандиозна и особенно рельефно выделяется на фоне современной ему российской действительности. В области физики он не имел предшественников в своём отечестве, ему пришлось многое начинать с начала. Беспрецедентный в истории науки и культуры подвиг развития русского просвещения и науки Ломоносов совершил, став «первым русским университетом» и первым русским академиком.

Сказанное выше не следует понимать так, что Ломоносову пришлось начинать на пустом месте, что до Ломоносова в России не было ни наук, ни просвещения, что допетровская Россия представляла собой историческую пустыню, полудикую «Московью». Дело, разумеется, обстоит вовсе не так. Мы имеем здесь ситуацию, напоминающую ситуацию в Европе в начале Возрождения, когда, как бы по волшебству, «после тёмной ночи средневековья» начали возрождаться наука и искусство.

Энгельс разъяснил эту ситуацию и указал на те результаты исторического процесса, которые подготовили почву для расцвета науки. И всё же Энгельс указывал, что основоположникам новой науки приходилось начинать по существу сначала, т. е. закладывать новую науку на совершенно новой основе. Доломоносовская, допетровская Россия жила напряжённой жизнью, она создала памятники искусства и литературы, среди которых мы находим такой шедевр, как «Слово о полку Игореве». Несомненно и то, что в русском народе жили и творили талантливые, одаренные личности. Богатейший опыт русского народа в его борьбе с суровой природой отразился в мудрых народных приметах, поговорках, в народном календаре. Осваивал чащи, болота и степи русской равнины, народ практически постигал механику и метеорологию, географию и физику. Предприимчивые поморы плавали по студёному морю, открывая земли, заново переоткрываемые последующими поколениями. Русские паломники пробирались в Малую Азию, купец Никитин ходил в Индию, Дежнев и Стадухин за сто лет до Беринга открыли Берингов пролив. Русские зодчие воздвигали храмы, кремни, палаты, разрешая сложнейшие задачи строительной механики. При низком уровне тогдашнего просвещения чрезвычайно показательна любовь и уважение русского народа к книге:

Если мы прибавим к этому чудесный русский фольклор, русскую живопись, старинные ремёсла и промыслы, то станет ясным, что всё последующее развитие русской культуры имело глубокие национальные корни. Однако не следует забывать о чрезвычайно неблагоприятной исторической обстановке, в которой развивалась русская культура.

Достаточно вспомнить «кровавую грязь монгольского ига», «посоврыцарей», польско-шведскую интервенцию XVII в. и изнурительную сторожевую службу на степных окраинах.

Одним из результатов этой сложной и неблагоприятной обстановки был низкий уровень образованности в допетровской Руси (а неграмотность подавляющего большинства населения царской России оставалась до Октябрьской Революции). При вообще низком уровне просвещения в средние вековые мир уровень просвещения феодальной Руси был крайне низок даже в сравнении с тогдашними примитивными запросами. «Приведут ко мне мужика ставить в попы, — жаловался Новгородский архиепископ

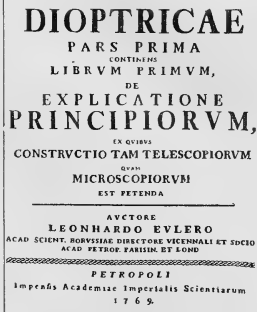


Рис. 152. Титул «Диоптрики» Эйлера.

конца XV в. Геннадий, — дам ему апостол¹, а он и ступить не умеет, дам ему псалтырь, а он и по той едва бредёт». Созванный в начале царствования Ивана IV «Стоглавый собор» отмечал чрезвычайно низкий уровень грамотности. В то время как на Западе уже началось Возрождение, а университеты насчитывали двухвековую давность, на Руси не было даже низших школ. Будущих священников учили церковной службе «с голоса», грамоте учили по цеховому способу отдельные мастера, по большей части из дячков. Вполне понятно, что тот богатый практический опыт, о котором мы говорили выше, не закреплялся в книгах и не отражался в письменности. Книжное учение было оторвано от практики и не было доступно народу. Сама книжная литература была по преимуществу церковно-служебной (книги «священного» писания, литургии, требники, часословы и т. д.), а светская литература была прежде всего исторической, правоучительной, далее политической и юридической. Только позднее появляются книги технического и естественно-научного содержания. Характерен пример с вычислением «пасхалий», т. е. таблиц, устанавливающих дни и числа передвижных церковных праздников, в первую очередь праздника Пасхи, который должен приходиться в первое воскресенье после весеннего равноденствия. Подобного рода расчёты, основанные на знаниях лунного и солнечного циклов, выполнялись греками, и русская церковь пользовалась уже готовыми таблицами, составленными до 7000 г. по старому летоисчислению, т. е. до 1492 г. (до Петра на Руси считали от «сотворения мира» и принимали, что «рождество христово» произошло в 5508 г. от этой даты). В этом 7000 г. ожидался «конец мира». Но ожидаемого конца, конечно, не случилось, и надо было составлять таблицы на «космую тысячу». Это оказалось нелёгким делом. Во всяком случае новгородский архиепископ Геннадий посылал в Рим переводчика Герасимова за материалами. Между тем ещё в 1134 г. вышел трактат «Кириска диакона и доместика Новгородского Антошова монастыря ученье имже ведати человеку числа всех лет». Но всей вероятности, Кириск был близок к греческим кругам и от них усвоил знание пасхалии, по, по видимому, был и сам пезаурядным «числолюбом». Но его работа осталась уникальной и о ней не вспоминали в XV в., когда посылали за границу за материалами для новой пасхалии.

С элементами античной науки Русь познакомилась ещё в период XI—XIII вв. по таким переведённым с греческого произведениям, как «Книга свягих тайн» Енохова, «Шестоднев» Иоанна Экзарха, «Богословие» Иоанна Дамаскина, «Хропика» Георгия Амартола. Средневековое представление о вселенной Русь получила, кроме того, из «Христианской топографии» Космы Индикоплевста, или, как его называли, Индикоплова. Разумеется, это были только крупницы аристотелевской натурфилософии, к тому же поданные в символическо-богословской окраске. Вот в каком контексте русский читатель получил сведения о воззрениях Демокрита («Хропика» Георгия Амартола) «Тако бог наричють она претошкая и малая телеса. их же светлости ради в пемь солине показуеть и в немь всюду имешуемая. Сию же тихию, рекше улученне имармепю прославиша. Имармепю же пужую силу рекше сущия и вещьством движается. Тихию же Платон вину нарече сходимая бываеи ли спадаише естеству ли изволение. Убо и Димократ о спх рече тако: ибо сущая от бога вси имам, сущая же от мармашю и тихию и менших оных телес вне разнесимо всюду имешуемь и приимам же и разньствуемом и спосимом пужею. От них не точию богатство и пицета и сдравие и педуг и работа и свобода и крамола и мир раздаети, но и добродетелье наследствують». Вряд ли русский читатель

¹ «Деяния апостольские» — одна из церковных книг.

мог составить себе какое-либо понятие об атомистике на основании этого запутанного изложения. Да и вообще к философским тонкостям православная мысль относилась подозрительно, призывая «не мудрствовать лукаво» и следовать обычаю предков.

Тем не менее сдвиги, происшедшие в русской государственной жизни и на Западе, заставили отступать и от «древнего обычая» и считаться с новыми фактами XVII в., века революции в естествознании. Выпешнее из борьбы с польско-шведской интервенцией, русское государство, залечив раны «смутного» времени, крепнет и расширяется. Усиляются связи с Украиной, закончившиеся воссоединением её с Русью, происходит освоение и разведка далёких восточных окраин.

Культурные и политические связи с Западной Европой усиливаются. Иностранные специалисты массами приезжают в Москву. Появляется потребность в своих образованных людях, возникают первые школы. Киевский митрополит Пётр Могила учреждает в 1631 г. Духовную академiю в Киеве, где изучаются латинский и греческий языки и семь свободных искусств. Один из видных деятелей царя Алексея боярин Ртищев был воспитанником этой Академии. Возникают школы и на Москве: в 1632 г. школа грека Иосифа, в 1649 г. школа грека Арсения, а при дворе Федоре в 1682 г. Законодательная славяно-греко-латинская академия, устав которой был утверждён в 1684 г.

Имеются сведения, что уже Борис Годунов думал об организации в Москве университета. Старинному укладу был нанесен серьёзный удар делом исправления церковных книг: как известно, это мероприятие привело к расколу в русской церкви.

Расширяется типографское дело: работает не только печатный двор в Москве, патриарх Никон заводит типографию и в Воскресенском монастыре в Истре. Появляются книги переводные и оригинальные нового содержания. В математических рукописях и книгах появляется «цифирь» т. е. арабские цифры, взамен старых — буквенных.

Россия XVII в. активно участвовала в великой работе по расширению «orbis terrarum». По подсчётам проф. Визе, в течение 15 лет (1633—1648) сибирские путешественники разведали огромное пространство от моря Лаптевых до Берингова пролива. В 1610 г. Курочкин достигает устья Енисея, в 1632 г. на Лене основывается Якутск. В 1633 г. казак Иван Ребров идёт из Якутска по Лене к океану и первым достигает рек Яны и Индигирки. Михаил Стадухин отправляется в 1644 г. морем с Индигирки на Колыму. В 1647 г. Стадухин отправляется на Колыму. Он был на реке Анадырь, откуда прошёл в Охотское море, и вернулся в Колыму, по видимому, сушей. В своём знаменитом путешествии по Северному Ледовитому океану с Колымы на Анадырь на семи «кочах» Дежнев достиг Берингова пролива и крайней восточной точки Азии («Мыс Дежнева»). Об этом открытии Дежнев описывает так: «А с Колымы реки идти морем на Анадырь реку есть нос, вышел в море далеко, а не тот нос, который от Чухочи реки лежит, до того носу Михайло Стадухин не доходил, и против того носу есть два острова, а на тех островах живут чухмы, а врезываны у них зубы, прорезываны губы, кость рыбей зуб, а лежит тот нос промеж север на полуношник, а с русскую сторону носа признаки: вышла речка становье тут у чухочь делано, что басня из кости китовой, и нос поворотит кругом и Анадыре реке подлегло, а доброго побегу от носа до Анадыри реки три суток, а боле нет, а идти от берега до реки неделе, потому что река Анадырь пала в губу».

В 1643 г. «письменный голова» Василий Поярков отправился из Якутска по Лене до устья Алдана, оттуда в 1644 г. до притока Амура Зеи, а с ней

дошёл и до устья Амура. В 1649 г. в область Амура отправился Ерофей Павлович Хабаров. Хабаров ходил на Амур дважды. Город Хабаровск и станция Ерофей Павлович сохранили имя, отчество и фамилию этого разведчика.

В 1697—1699 гг. казак Атласов ходил на Камчатку. Атласов подтвердил данные Дежнёва о существовании восточного «носа» и дал первые сведения о Камчатке. Первый исследователь Камчатки Крашенинников назвал Атласова «первым обретателем Камчатки».

Русские путешествия на восток не ограничивались своей территорией; в XVII в. предпринимались путешествия в Монголию и Китай.

В 1616 г. в Китай ходили Василий Тюменев и Иван Петров. Они вернулись в Москву в 1617 г., дойдя до Северной Монголии.

9 мая 1618 г. из Томска в Китай отправилась экспедиция казака Ивана Петлина, которая в сентябре того же года достигла Пекина и весной 1619 г. вернулась обратно. В 1654 г. с дипломатическими целями побывал в Пекине и Монголии «боярский сын» Фёдор Байков, давший очень точное описание своего путешествия. В 1675 г. переводчик посольского приказа Николай Спафария также с дипломатической целью ездил в Китай. Экспедиция была организована на научный лад, она имела «инструменты различные астрономические и компасы, через которые можно расстояния путей и прямой путь обыскать; живописец, который знает землемерие и чертежи писать; книга из оптики, в которой описано государство китайское и лексикон китайской».



Рис. 153. Титул «Артиллерии».

Результаты этой огромной географической работы запечатлевались в «чертежах», «респексах», «описаниях» и письменных отчётах путешественников. Конечно, эти документы имели служебный характер и предназначались для специального употребления. Всё же известия о географической работе русских проникают и на Запад и даже в Лондонском королевском обществе шла речь о путешествии Петлина. Эта напряжённая работа послужила базой замечательных географических исследований XVIII в. Географический кругозор расширяется не только практически. Появляются переводы выдающихся географических работ. В конце XVI и начале XVII в. появился труд Меркатора «Atlas sive cosmographia». В 1637 г. в России появился перевод этого труда: «Книга, глаголемая космография, сиречь всего света описание». Известна и компилятивная «Космография» 1670 г. Любопытно, что список этой книги был куплен дьяком Алмазом Чистым в Холмогорах. Далее су-

ществовала космография, представлявшая собой перевод сочинения Ортезиуса «Theatrum orbis terrarum» (1571).

Более полным и свежим был атлас Блеу в шести томах. Первые четыре его тома были переведены учёными монахами Епифанием Славинским, Арсением и Исайем под заглавием «Позорище всея вселенные или Атлас новый». Первый том этого перевода содержал общие космографические представления, и здесь плагалась, между прочим, и воззрения Коперника, с указанием, что обе системы Коперника и Птолемея одинаково хорошо описывают явления и что переводные математики теперь принимают первую. Этот том и был переведён Епифанием Славинским почти дословно. Так в XVII в. Русь познакомилась с переводным астрономическим учением — «революционным актом» нового естествознания.

Ещё более замечательным фактом было появление перевода книги дандигского бургомистра Иоганна Гевелия «Селенография» (1647). Этот бургомистр был большим любителем астрономии, устроил хорошо оборудованную обсерваторию, имел огромный телескоп в 150 футов длиной. Книга его была украшена большим количеством рисунков, выполненных им самим, и поэтому могла привлечь внимание читателя. Вероятно, она заинтересовала Алексея Михайловича и вполне возможно, что её перевод был выполнен по его приказу. Заглавие перевода гласит: «Иоанна Гевелия Селенография еже есть Луны описание и прилежащее крапни ея и подвижный различный и иных всех изменений и изображений, зрительного сосуда помощью испытанных, определение. В нём же зде иных многих планет природный зрак и многая блгодения, папшаче же крапни солнечных и нове-товых трубозрением изобретенных и таблиями велыми прилежно на меди изваянными во увидение полагаются». Гевелий даёт краткий очерк истории астрономии, упоминает о Тихо Браге, Галилее, Кеплере, Шейнере, даёт очерк системы Коперника, иллюстрируя её чертежом, приводит числовые данные о периодах обращения планет и некоторые данные о размерах солнечной системы. Большое место в книге занимает Луна, карты её поверхности в различных фазах, он останавливается на «спутниках» Сатурна (кольца он ещё не знал) и спутниках Юпитера.

Как видим, достижения нсвой науки в её наиболее босвой, мировоззренческой области проникали в Московскую Русь, правда, в осторожных высказываниях Блеу и Гевелия. Но при Петре был уже издан и перевод «Космотеороса» Гюйгенса. Веяния нового времени сказались и в переводе анатомического трактата Везалия, и в появлении при Михаиле Фёдоровиче «Устава воинского», посвящённого главным образом артиллерии и опирающегося на «Новую науку» Тарталья, и в переводе «Физики» Аристотеля, и переводе с английского геометрического сочинения, видимо Евклидовой геометрии. Но эти ласочки ещё не делали весны. Дух новой науки, как мы видели, заключался в обращении к опыту как источнику познания. Курьёзы природы интересовали многочисленных любителей, из среды которых вышли Левенгук и Герике, а новая учёная корпорация объединялась в академиях и кружках для производства опытов. В Московской Руси XVII в. эти новые веяния отражались очень слабо. Когда посол Олеарий забавлялся у себя в комнате, превращённой им в камер-обскуру, зрелищем двигающихся вверх ногами людей и животных, то вошедший к нему боярин, в ужасе крестясь, назвал занятие колдовством. Вряд ли можно было заниматься барометрами и насосами в таких условиях. Имеются сведения, что один из образованных людей того времени боярин Артамон Матвеев имел в своей библиотеке «чернокошкные книги» с «цифирью» и занимался «волшебством» с какой-то «хитроумной» заграничной машиной. Эти слухи серьёзно повредили Матвееву, когда его дом громили

приверженцы партии Милославских. Да и упомянутые выше сочинения оставались ушакумами, не издавались, а списывались для отдельных любителей. Таким образом, культура допетровской Руси отставала от западной.

Наука при Петре.
Учреждение
Академии наук.

Имея дело с более развитыми странами на Западе, Пётр Великий лихорадочно строил заводы и фабрики для снабжения армии и усиления обороны страны. Предпринимая меры для ликвидации экономической отсталости страны, Пётр стремился ликвидировать и культурную отсталость. Русских отправляли за границу для обучения «навигацим» и дру-

гим наукам, вербовали специалистов из-за границы. Но все эти меры не могли удовлетворить потребности государства в специалистах и просто грамотных людях. Пётр издаёт указ за указом об организации просвещения и в первую очередь специального образования. В 1701 г. была учреждена навигацкая школа в здании Сухаревой башни в Москве. Организуются «цифирные школы» и в провинции. Вот указ Сенату от 20 января 1714 г.: «Послать во все губернии по несколько человек из школ математических, чтобы учить дворянских детей, кроме однодворцов приказного чина, цифири и геометрии, и положить штраф такой, что не вольно будет жепиться, пока сего выучится». Последующим указом уточняются условия обучения: учатся дворянские дети и дети приказных в возрасте от 10 до 15 лет цифири и некоторой части геометрии. Учителям, набранным из учеников математических школ, отводятся школы при архиерейских домах и в больших монастырях, уплачиваются «кормовые деньги» из губернских доходов, с тем чтобы обучение было бесплатным.

В 1715 г. на базе переведённой из Москвы навигацкой школы учреждается Морская академия, в которой, по утверждённой Петром программе, должны были «учить наукам, арифметике, геометрии, навигации, артиллерии, фортификации, географии, рисовать живописью и воинским обучением, мушкетам и на раширах, и некоторым астрономии». Из этой школы, в развитие своих указов от 1714 г. Пётр предписывал послать по два человека на губернию для обучения математике детей дьячих и подьячих. В 1703 г. вышла знаменитая арифметика Леонтия Магницкого, бывшая своеобразной энциклопедией физико-математических наук. Автор «Арифметики» указывает на её практическое значение:

«Како убо могу человечески жити и жизнь свою по достоинству управляти?»

Како бы могли без науки счисления пользу себе имети, яже великая, и трудная педоумения ясна предлагает?»

Автор указывает, что эта наука «потребна бо есть землеописателем. и свяских размеров художникам, в строении зданний, и мерению житищ, и всяких сосудов, и к развешению тяготы, к мореплаванню же, и ко всяким воинским делом, и ко описанию лет...»

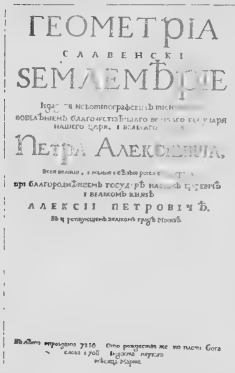


Рис. 154. Титул «Геометрии».

Лесотий Филиппович Магницкий (1669—1739) сам был воспитанником Законоспасенской славяно-греко-латинской академии. Помимо изученных в академии латинского и греческого языков, он изучил голландский, немецкий и итальянский языки. С 1701 г. он стал преподавателем арифметики, геометрии и тригонометрии в Навигацкой школе, в которой

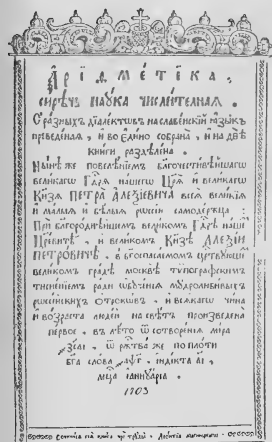


Рис. 155. Титул «Арифметики».



Рис. 156. Страница «Арифметики» Магницкого.

преподавал до конца жизни. Его «Арифметика» была общепринятым учебником в течение всего периода первой половины XVIII в. Кроме «Арифметики», Магницкий принимал участие в переводе логарифмически-тригонометрических таблиц Влакка, а также в вышедших в 1722 г. переводных «таблицах» («Таблицы горизонтальные северные и южные широты»). Его коллегами по Навигацкой школе были англичане Фарварсон и Гвин, переведённые впоследствии в Морскую академию.

Так были сделаны первые шаги в насаждении в России точных и технических наук. Однако этого было ещё недостаточно. Нужно было осваивать богатства страны, остро ощущалась необходимость не только в морских инженерах, техниках, штурманах, но и знатоках горного дела, разведчиках недр, географах и геологах, металлургах.

При Петре началось освоение богатства Урала, при нём было основано свыше 200 фабрик и заводов. Задача изучения страны, потребности народного хозяйства, настоятельно требовали создания отечественного

научного центра, который мог бы возглавить работу по освоению отечественных природных ресурсов и удовлетворить запросы молодой промышленности. И Пётр серьёзно думает об учреждении Академии наук, советуется с Лейбницем, а затем с Вольфом, поручает своему лейб-медику Лаврентию Блюментросту организацию будущей академии. Но Пётр понимал, что России нужна академия, которая могла бы стать не только научным центром, но и местом подготовки отечественных кадров. Пётр давал



Бильфингер.

задание подыскать учёных специалистов из славян, у которых легче было бы обучаться русским. В проекте академии, учреждённой указом от 28 января 1724 г., говорится, что для развития наук служат обычно два не связанных друг с другом учреждения: учебное — университет и научное — академия, и что этот порядок не применим к русским условиям:

«Поиске ныне в России здание к возвращению художеств и наук учинено быть имеет, того ради невозможно, чтоб здесь следовать, в прочих государствах принятому образу, но надлежит смотреть на состояние здешнего государства, как в рассуждении обучающихся, так и обучающихся и такое здание учинить, через которое бы не токмо слава сего государства для размножения наук пынешним временем распространилась, но и чрез обучение и расположение оных, польза в народе впредь была».

В этом параграфе устава сформулирована основная идея нового учреждения. На академию возлагались большие задачи, она должна была не только развивать науку, но и приносить прямую пользу народу, прежде всего подготовкой обученных кадров. Поэтому при академии учреждались гимназия и университет. Когда нам придётся говорить о борьбе Ломоносова за создание отечественной науки, мы вернёмся к этому пункту.

Пётр не дождал до открытия академии. Он умер 28 января 1725 г. Слезавшихся академиков встречали Екатерина и Меншиков. Таким образом выдающемуся сподвижнику Петра А. Д. Меншикову русская наука оказалась обязанной учреждением её высшего научного центра. Интересно отметить, что Меншиков был первым русским членом Лондонского королевского общества. Сообщая о единогласном избрании Меншикова членом общества, президент И. Ньютон писал 25 октября 1714 г.: «Поскольку Королевскому обществу известно стало, что Император Ваш, ЕГО Царское Величество, с величайшим рвением развивает во владениях своих искусство и науки и что Вы служением Вашим помогаете Ему не только в управлении делами военными и гражданскими, но прежде всего также в распространении хороших чинг и наук, постольку все мы исполнились радостью, когда английские негодянты дали знать, нам, что Ваше Превосходительство по высочайшей просвещённости, особому стремлению к наукам, а также вследствие любви к народу нашему,

желали бы присоединиться к нашему обществу». Это желание Меншикова очень показательно, равно как и показательна пьютоновская оценка просветительной деятельности Петра. Меншиков несомненно оправдал честь, оказавшую ему обществом, своими заботами о новой академии. В академию были приглашены выдающиеся учёные, из которых можно отметить, физика Бильфингера, математика Гольдбаха и особенно братьев Даниила и Николая Бернулли, пригласивших в 1727 г. молодого Эйлера. Благодаря этим выдающимся учёным труды академии «Commentarii» быстро получили мировую известность. Но в мае 1727 г. Екатерина умерла, верх взяла реакционная партия, Меншиков был сослан, новый император Пётр II переехал в Москву — и для академии наступили трудные времена. Делами академическими заправляла знаменитая академическая канцелярия, во главе которой стоял пронырливый Шумахер. О деятельности канцелярии и Шумахера впоследствии очень резко отзывался Ломоносов, считая её одной из важнейших причин упадка академии и отступления от основной идеи Петра. Действительно, академические дела приходили в упадок, уехали Эйлер, Д. Бернулли (Николай умер в Петербурге) и ряд других учёных, по выражению Ломоносова, уехали «горькие слёзы утираячи». Правление канцелярии раздражало академиков, а невнимание правительства к нуждам академии приводило к систематической задолженности жалования, которое даже выдавали книгами из академического магазина. Во времена бирюзовщины положение в академии было очень тяжёлым. Немское руководство оскорбляло национальное достоинство русских, дело доходило до того, что в академики выдвигались бездарные и невежественные ставленники Бирона. Печальным памятником рабленства перед временщиком осталось посвящение Бирону одного из самых замечательных произведений первой половины XVIII в. «Гидродинамики» Д. Бернулли. Гимназии и университет пришли в полный упадок, и когда в 1734 г. был назначен «командиром» академии барон Корф, то ему пришлось заняться вопросом о заполнении контингента учащихся. Корф обратился с запросом в Сенаг об издании указа об откомандировании из монастырских и церковных школ учащихся, способных слушать лекции в университете. В результате этого указа в Петербурге появился студент Запконославской академии Михайло Ломоносов.

Годы учения
Ломоносова.

Сын архангельского помора Василия Дорофеева Ломоносова Михаил Васильевич Ломоносов родился в д. Денисовке (ныне с. Ломоносово) против г. Холмогор 8 ноября 1711 г. (день рождения Ломоносова точно не известен, дату его рождения относят к так называемому «Михайлину дню»). Детство и отрочество Ломоносова протекало в обычных условиях: уже с детства он помогал отцу в промысле. Мальчиком Ломоносов обучился

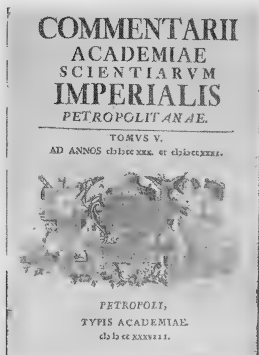


Рис. 157. Титул «Комментарий Императорской академии наук».

грамоте и уже с 12 лет читает в перкви Псалтырь и Часослов. В шестнадцатилетнем возрасте Ломоносов познакомился и с светскими книгами: «Грамматикой» Смотрицкого и уже известной нам «Арифметикой» Магницкого. Эти книги, которые сам Ломоносов называл «вратами своей учёности», решили судьбу будущего великого учёного. Жажда знания заставила его в конце концов покинуть родной дом (в котором после новой женитьбы отца создались к тому же невыносимые условия для юности), и в 1730 г. Ломоносов уходит в Москву.



Рис. 158. Место рождения Ломоносова.

Здесь он поступил в Заиконогласскую славяно-греко-латинскую академию, первое высшее учебное заведение в Московской Руси. Первые годы учёбы. Он сам вспоминал впоследствии, что «...обучаясь в Славянских школах, имел и со всех сторон отвращающие от наук просильные стремления, которые в тогдашние лета почти непреодоленную силу имели. С одной стороны, отец, никогда кроме меня детей не имея, говорил, что будучи один, его оставил всё довольство (по тамошнему собою инию), которое он для меня кровавым потом нажил и которое после его смерти чужие расхитят. С другой стороны, неслыханная бедность: имел один алтын в день жалованья, черзья было иметь на пропитание в день больше, как на денежку хлеба и на денежку квасу, прочее на бумагу, на обувь и другие нужды. Таким образом жил я пять лет и наук не оставил».

В этих трудных условиях, усугубляемых насмешками младших школьников («мори-де какой боляк! лет в двадцать пришёл латинс учаться»), Ломоносов сумел проявить свои блестящие способности, пройдя первые три класса за один год. Но схоластическая наука его не удовлетворяла.

Ломоносов искал новых путей, собирался было ехать священником с Оренбургской экспедицией, но при допросе открылось истинное происхождение Ломоносова (при поступлении в Академию он сказался сыном попа), и поездка не состоялась.

Затем он ездил в Киевскую духовную академию, но и та его не могла удовлетворить. Сенатское предписание пришло как нельзя кстати: в числе лучших двенадцати учеников (вместо требуемых двадцати) был послан и Михайло Ломоносов, прибывший в день нового, 1736 года в Петербург.

Ещё одно обстоятельство оказалось благоприятным для Ломоносова. Ощущалась острая необходимость в специалистах горного дела. Неустойчивость политического положения в России да, вероятно, и слухи о тяжёлом положении в академии охладили желание иностранцев ехать в Россию, и по совету металлурга Генкеля было решено послать для обучения горному делу и металлургии трёх подготовленных студентов. Были выбраны Ломоносов, Вишegradов и Рейзер, причём по совету отца последнего решено прежде направления кандидатов к Генкелю послать их для прохождения общего курса наук к Вольфу. 3 ноября 1736 г., после долгих проволочек с оформлением командировки и задержек в пути, студенты прибыли в Марбург.

Годы заграничной учёбы были годами формирования Ломоносова как учёного. Он быстро овладел необходимой суммой знаний и так же быстро стал проявлять свою научную самостоятельность. Высоко оценивая Вольфа, питая к нему глубокое уважение до конца своей жизни, Ломоносов не принял реакционную идеалистическую часть его системы. Атомистика Вольфа, с идеалистическими чертами лейбницевской монадологии, была переработана Ломоносовым по-своему. Об этом свидетельствуют первые работы Ломоносова, посланные им при отчёте в академию: «образчик знания физики: о превращении твёрдого тела в жидкое, зависящем от движения имеющейся на л. по жидкости», написанный на латинском языке и приложенный к рапорту 15 октября 1738 г., и в особенности «физическая диссертация о различии смешанных тел, состоящем в сцеплении корпускул, которую для выражения написал Михайло Ломоносов, студент магематики и философии, в 1739 г., в марте месяце». Но если Ломоносов мог преодолеть Вольфа, то тем более быстро он должен был убедиться, что ему нельзя учиться у типичного представителя старых цеховых методов Генкеля, который, по отзыву Ломоносова, «всю разумную философию презирал». Отношения между Генкелем и Ломоносовым быстро испортились, и Ломоносов покидает Фрейберг.

Его странствования после Фрейберга полны событий и приключений. К ним относится и такое неприятное приключение, как вербовка в прусскую армию. Наконец, из Голландии Ломоносов отправляется в Петербург. 8 июня 1741 г., после почти пятилетнего пребывания за границей, Ломоносов прибыл в Россию.

Начало академической деятельности.

Через полгода после занятий по переводам, составлению каталога минералов и т. д. Ломоносов становится адъюнктом физического класса Академии наук. Очень скоро молодому адъюнкту пришлось принять участие в академических делах; от него не могло укрыться тяжёлое положение академии, самоуправство Шумахера, засилье немецкой партии. Он не преминул примкнуть к русской партии, возглавляемой Нартковым, принял участие в обвинении Шумахера, по которому последний был арестован и назначена следственная комиссия. Но Нартков, искусный токарь, понимавший толк в «художествах» и хорошо чувствовавший, что дела

в Академии идут не так, как мыслил её основатель, конечно, не был в состоянии руководить академическими делами, поэтому положение оставалось тяжёлым. Ломоносов видел, что в академии нет прежних крупных имён «и хорошо сознавал своё превосходство над бездарными профессорами немцами. Стычки его с последними в академической конференции учащались, наконец ему запретили временно посещать конференцию. Это вывело Ломоносова из себя: 26 апреля 1743 г. он заявился в академию, прошёл в шляпе в географический департамент, оскорбил профессора Вингегейма назвав его и прочих немцев-академиков «суноватами», т. е. «сукиными детьми». Как записано в свидетельских показаниях, Ломоносов говорил, что он «де не хуже вас профессоров и к тому же природный русский».

В результате этого инцидента была подана в следственную комиссию жалоба академиков-немцев на Ломоносова, и с 28 мая 1743 г. по 18 января 1744 г. Ломоносов находился под арестом. Дело могло кончиться скверно; следственная комиссия в составе гр. Головина, кп. Юсупова и ген.-лейт. Игнатьева, нашедшая возможным оправдать и освободить 28 декабря 1742 г. Шумахера, приговорила Ломоносова к лишению прав, телесному наказанию и ссылке. Только, вероятно, вследствие заступничества И. И. Шувалова вышел указ 18 января 1744 г.: «адъюнкта Ломоносова для довольного его обучения от наказания освободить, а по объявленных учинённых им проступках у профессоров просить ему прощение, а что он такие непристойные проступки учинил в комиссии и в конференции, яко в судебных местах, за то давать ему, Ломоносову, жалованье в год по нынешнему его окладу половинное; ему же, Ломоносову, в канцелярии Правительствующего Сената объявить с подписью, что сжали он впредь в таковых проступках явится, то поступлено будет с ним по указам неотменно». Другими словами, приговор комиссии был объявлен условным.

Ломоносову пришлось публично извиниться и обещать не посягать «на доброе имя и на репутацию известнейших господ профессоров сей Императорской академии наук». Ломоносов, очевидно, учёл старое римское правило «*quod licet Iovi, non licet bovi*»¹, и, не прекращая своей борьбы за превращение академии в национальный научный центр, развёртывая интенсивную научную и литературную работу, добивается получения академической кафедры.

Уже в феврале 1744 г., т. е. менее чем через месяц после освобождения, появляется известие о новой диссертации Ломоносова: «О нечувствительных физических частичках», затем в том же году он закончил замечательную работу: «Размышления о причине теплоты и холода». Большую известность доставили Ломоносову его стихотворные произведения, из которых особенно выделяются «Вечернее» и «Утреннее размышление о божьем величии», написанные ещё во время ареста. Так как вообще в соответствии с условиями заграничной командировки предполагалось производство командированных в профессора, по возвращении их из-за границы с надлежащими аттестатами, то Ломоносов счёл себя вправе подать в апреле 1745 г. рапорт о назначении его профессором химии. Несмотря на полную оправданность рапорта Ломоносова, Шумахер пытался препятствовать назначению Ломоносова. Когда конференция, рассмотрев рапорт Ломоносова на заседании 3 мая 1745 г., согласилась с тем, что Ломоносов является достойным кандидатом, и предложила ему в формальном порядке написать и защитить диссертацию из металлургии, что Ломоносов и выполнил уже 14 июня того же года, то Шумахер решил использовать авторитет Эйлера,

¹ «Что позволено Юпитеру не позволено быку».

чтобы очернить нового профессора. Профессорскую диссертацию Ломоносова «О светлостях металлов» и его знаменитые работы «Размышление о причине теплоты и холода» и «Попытка теории упругой силы воздуха» он послал на отзыв Эйлеру. Ломоносов правильно оценил значение этого акта Шумахера, который действительно любопытен. Во-первых, Шумахер, очевидно, сознаёт, что авторитет оставшихся в Петербурге академиков невелик, их отзыв для Ломоносова не будет иметь значения. Во-вторых, апеллируя к Эйлеру, Шумахер не только рассчитывает на его авторитет, ставший к тому времени совершенно бесспорным, но и на «услугу» с его стороны (Эйлер был в то время почётным академиком Петербургской академии). Характерен и самый выбор диссертаций: вероятно, Шумахер слышал или догадывался о несоответствии их общепринятым в тогдашней науке воззрениям. Но, как бы то ни было, Шумахер ошибся в расчётах. Эйлер прислал (вероятно, в начале 1746 г. — Ломоносов стал профессором с 25 июля с. с. 1745 г.) хвалебный отзыв. Приводим в переводе Купика текст этого отзыва:

«Все записки г. Ломоносова по части физики и химии не только хороши, но превосходны, ибо он с такою осторожностью излагает любопытнейшие, совершенно неизвестные и необъяснимые для величайших гениев предметы, что я вполне убеждён в истине его объяснений. По сему случаю я должен отдать справедливость г. Ломоносову, что он обладает счастливейшим гением для открытия феноменов физики и химии; и желательно бы было, чтоб все прочие академики были в состоянии производить открытия, подобные тем, которые совершил г. Ломоносов...»

Эйлер неизменно поддерживал научные взгляды Ломоносова и в своих «Письмах к немецкой принцессе» излагает свои физические воззрения, во многом совпадающие с ломоносовскими. Несомненно, что смыслы ломоносовские идеи импонировали Эйлеру и влияли на его взгляды. Оба великих учёных до конца дней сохраняли друг к другу взаимное уважение.

Таким образом, вылазка Шумахера потерпела полный крах. Ломоносов активно борется за улучшение академии, университета и гимназии, за превращение её в подлинный рассадник русской науки. Впоследствии Ломоносов в своей «Краткой истории Академической канцелярии» вспоминает плоды шумахеровского правления.

Прошло двадцать лет со дня организации академии. Но академия ещё не имеет утверждённого устава, растеряла кадры, университет и гимназия впадают жалкое существование, не подготовив ни одного человека для академии. Канцелярия душит академическую инициативу, тормозит дело развития русской науки. Ломоносов стремится привести «в возделанное течение гимназию и университет, чтоб оттуда могли произойти многочисленные Ломоносовы», а заправилы канцелярии, сначала Шумахер, а затем его зять Тауберт, всячески сопротивлялись этому: «Разве нам десять Ломоносовых надобно, — говорил Тауберт, — и один нам в тягость». «И великую прошибку и неглиже своей сделал. — сетовал Шумахер. — что допустил Ломоносова в профессору». И действительно, всю свою жизнь Ломоносов неустанно боролся за процветание наук в России, за то, чтобы вырастить российских Ньютон и Платонов, которых — он твёрдо был убежден в этом — «может российская земля родить».

В борьбе за устав и регламент академии добились некоторых формальных успехов. 21 мая 1746 г. был назначен президент, а 1747 г. был утверждён устав Академии, университета и гимназии. Но президентом был назначен молодой гетман Малороссии Кирилл Григорьевич Разумовский, мало понимающий в науках и вообще мало уделяющий внимания академи-

ческим делам, и канцелярия с Шумахером продолжали править делами. Новый устав не внёс каких-либо существенных изменений в положение вещей.

Ломоносов справедливо считал, что университета в России не существует. Университет должен быть торжественно открыт («инавгурация»), чтобы о его существовании знали во всем учёном мире, он должен иметь определённые права и привилегии. Важнейшими из таких привилегий Ломоносов считал академическую автономию, свободу преподавания. Он указывал, что «духовенству к учениям, правду физическую для пользы и просвещения показующим, не привязываться, а особливо не ругать наук в проповедях». Ломоносов настаивал на широкой демократизации университета, его двери должны быть открыты для всех сословий, в том числе и для крестьян, положенных в подушной оклад. Ломоносов настаивал на том, чтобы университет выполнял своё назначение рассадника русской науки. Сколько энергии и сил положил он для осуществления этой великой цели! В тяжёлые минуты, когда в борьбе с явными врагами, с равнодушием правящих кругов истощалась энергия, он записывал: «за то терплю, что стараюсь защитить труд Петра Великого, чтоб научились Россияне, чтобы показали своё достоинство...». Эти слова — девиз его жизни.

Профессорская деятельность Ломоносова с первых же шагов отмечена важными для русской науки начинаниями. Первым было строительство первой в России химической лаборатории. Ещё адъюнктом, Ломоносов подавал неоднократно ходатайства об организации химической лаборатории, но безуспешно. В 1745 г., став профессором, Ломоносов подаёт в Конференцию представление, в котором указывает, что он в январе 1742 г., мае 1743 г., марте 1745 г. просил канцелярию об организации химической лаборатории, но безуспешно. «Так как на меня теперь возложена обязанность профессора, то вы, конечно, понимаете, что по своей профессии я должен высказать вам своё мнение о постройке химической лаборатории и о снабжении её всем необходимым». Ломоносову удалось добиться поддержки прошения в Сенате. Шумахер всячески противодействовал строительству лаборатории, и лаборатория была построена осенью 1748 г., т. е. почти шесть лет спустя после подачи первого заявления, и все эти шесть лет Ломоносов «без лаборатории принуждён только одним чтением химических книг и теориею довольствоваться».

Вторым делом было издание ломоносовского перевода «Экспериментальной Вольфгангской физики». Первое издание вышло в марте 1746 г. Этим переводом русская физика получила не только первый учебник на русском языке, но основы русского научного языка. Слова: ареометр, воздушный насос, поршень, упругость, атмосфера, барометр, метеорология, термометр, манометр, гигрометр («пгрометр»), преломление лучей, микроскоп, периферия, полюс магнита, наклонение и склонение магнитной иглы, прочно вошедшие в русский научный язык, — были введены Ломоносовым. Переводу предшествовало знаменитое предисловие, в котором Ломоносов даёт блестящую характеристику переворота в науках, отмечает значение Декарта (Картезия) в новом мировоззрении и подчёркивает новое основание физики — опыт: «Главнейшая часть натуральной науки — физика — ныне уже только на одном опыте своё основание имеет. Мысленные рассуждения произведены бывают из надёжных и много раз повторённых опытов».

Наконец, Ломоносов предпринял попытку начать чтение публичных лекций по физике. Первая публичная лекция состоялась 30 июля 1746 г. и прошла с большим успехом.

Первые пять лет академической деятельности Ломоносова ознаменовались и другими важными событиями. В 1749 г. вышел первый том «Новых комментариев» Академии наук, в которых были помещены «Рассуждения о природе тепла и холода», «Опыт теории упругой силы воздуха», «О вольном движении воздуха, в руднике примеченном», «Рассуждение о действии химических растворителей вообще». К этому надо добавить, что в 1749 г. Ломоносов принял участие по предложению Эйлера в кон-

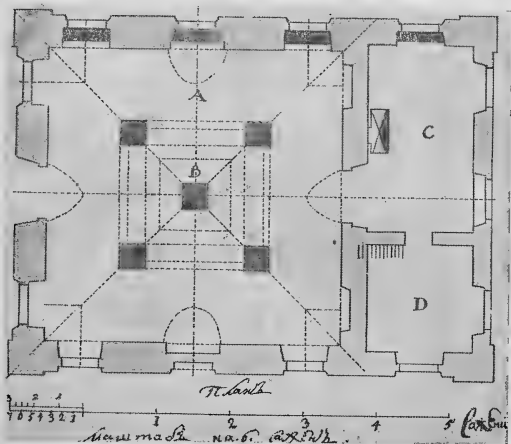


Рис. 159. План лаборатории Ломоносова.

курсе Берлинской академии на премию за сочинение о происхождении селитры.

Эйлер сделал своё предложение в письме к президенту Академии наук от 31 января 1748 г., в котором он, между прочим, писал: «Я сомневаюсь, чтобы мог кто-либо, кроме г. Ломоносова, написать об этом лучше, почему и прошу убедить его приняться за эту работу». Что ответил Ломоносов на это предложение — неизвестно, но, судя по письму Эйлера к нему от 23 марта 1748 г., он отказывался и вместе с тем развивал свои идеи о физической химии, отрасли естествознания, предвиденной Ломоносовым. Эту идею Ломоносова Эйлер приветствовал: «Из ваших сочинений с превеликим удовольствием я усмотрел, что вы в истолковании химических действий далече от принятого у химиков обыкновения отступили и с пространным искусством в практике высочайшее основательной физики знание везде совокупляете. Почему не сомневаюсь, что нетвёрдые и сомнительные основания сея науки приведёте к полной достоверности, как что ей после место в физике по справедливости дано быть может». Эйлер про-

должнает убеждать Ломоносова взяться за сочинение. Ломоносов отвечает письмом, имеющим исключительно важное значение в истории науки. В начале этого письма Ломоносов сообщает, что читает артиллерию Робинса с его, Эйлера, примечаниями, что много размышляет над природой упругости тел, что им закончена система корпускулярной философии, которую он «мог бы опубликовать, однако боюсь: может показаться, что даю учёному миру незрелый плод скороспелого ума, если выскажу многие новые

взгляды, по большей части противоположные принятым великими мужами».

Об этих взглядах и глубоких мыслях, высказанных в этом письме, мы будем говорить при оценке физических воззрений Ломоносова и Эйлера. Сейчас мы приведём только важнейшее место письма, содержащее формулировку закона сохранения энергии и материи: «Все изменения, случающиеся в природе, происходят так, что если что-либо прибавится к чему-либо, то столько же отнимается от чего-то другого. Так, сколько к какому-нибудь телу присоединяется материи, столько же отнимается от другого; сколько часов я употребляю на сон, столько же отнимаю от бдения, и т. д. Так как этот закон природы всеобщ, то он простирается даже в правила движения, и тело, побуждающее своим толчком другое к движению, столько же теряет своего движения, сколько сообщает другому, движущему им».

Подводя итоги пятилетней профессорской деятельности Ломоносова,

мы видим, что Ломоносов за этот период сделал научный вклад мирового значения. Он разработал систему корпускулярной философии, обосновал новую отрасль знания — физическую химию, разработал кинетическую теорию тепла и кинетическую теорию газов, сформулировал закон сохранения материи и движения. За это же время Ломоносов ведёт кипучую научно-организационную, педагогическую и литературную деятельность. К концу периода он — знаменитый автор од, трагедий, признанный оратор, его «слова» на торжественных актах пользуются большим успехом, он горячо полемизирует с академиком Миллером о начале русской истории и начинает опыты по изготовлению окрашенных стёкол (мозаика).

В следующее пятилетие (1750—1755) деятельность Ломоносова развёртывается широким фронтом. Научная работа его протекает главным образом по двум направлениям: электрические явления и химия. После получения сообщения об опытах Франклина по атмосферному электричеству этими явлениями начал заниматься академик Рихман, применивший электрический указатель (железная линейка с пёлковой нитью). Одновременно с Рихманом те же опыты производил Ломоносов («чинил электрические воздушные наблюдения с немалою опасностью», писал он в отчёте за 1752 г.).

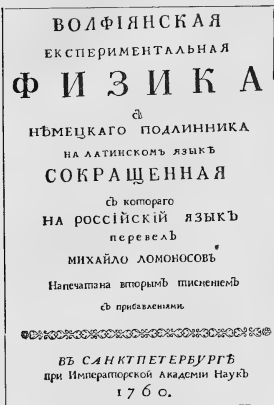


Рис. 160. Титул «Вольфлянской физики».

se amplex, et montes. separatio matris sanguinis.]
 Quam obrem si materia attractio matrem in corpori-
 bus producit; quæritur ergo causa erit impulsio; quod
 falsum est: quia impulsio matrem in corpori-
 bus revera excitat. adeoque attractio tantum; Hoc
 est nulla datur. Denique posuimus vim attra-
 ctivam materiam in corpori-
 bus dari; tunc corpus
 A attrahit aliud corpus B, hoc est illud movet
 sine ulla impulsione. Unde opus non est, ut
 corpus A impingat in corpus B, adeoque nec
 ut corpus B de se moveatur necesse est; et cum
 scilicet motus ejus secundum quatuordecim
 Attractionem ab eadem ad movendum corpus B non
 conferre possunt; sequitur ergo corpus A in ab-
 soluto quiete positum movere posse corpus B.
 Hoc autem movetur corpus corpus A. accedit; igitur
 illi novum aliquid; Hoc est motus versus corpus
 A, qui ante in eo non fuit. Omnes autem, quæ in
 rerum natura contingunt, mutationes, ita sunt
 comparatæ, ut si quid alicui rei accedit, B alteri
 debeat. Sic quantum alicui corpori materiae
 additur, tantum deinde decedit alteri, quod hoc ad
 summa impendo, totidem vigetque debet esse.
 Quæ naturæ lex cum sit universalis, deo etiam
 ad regulas naturæ extenditur: corpus enim, quod
 impulsione ad matrem excitat aliud, quantum
 de se amittit, quantum alteri a se moto impen-
 dit. Igitur si hujus legis, motus, qui versus corpus

Рис. 161. Страницка из письма Ломоносова к Эйлеру, где сформулирован закон сохранения материи и движения.

Летом 1753 г. опыты Рихмана и Ломоносова возобновились. Академики готовились к публичному акту, на котором намеревались сообщить результаты своих опытов. Во время своих экспериментов Ломоносов заметил, что «электрическая сила» и без действительного грома быть может, т. е. без грозы. Это наблюдение атмосферного электричества без грозы было сделано Ломоносовым 28 мая 1753 г., и Ломоносов считал его очень важным для обоснования своей теории атмосферного электричества. 26 июля 1753 г. во время грозы, которую одновременно наблюдали в своих квартирах Рихман и Ломоносов, Рихман был убит шаровой молнией. Опыты с «громовой машиной» были вообще очень опасны, установки не были заземлены, и Ломоносов был прав, говоря, что «чиплял опыты с немалую опасностью».

Ломоносов с большой печалью переживал смерть Рихмана, его замечательное письмо к Шувалову полно глубокой скорби, он просит позаботиться о семье покойного. Одновременно Ломоносов отмечает, что «умер господин Рихман прекрасною смертью, исполняя по своей профессии должность. Память его никогда не умолкнет».

Самого Ломоносова смерть Рихмана не могла отвлечь от его научных занятий, и он продолжал готовить речь об электрических явлениях для академического акта 5 сентября. Не так думали недруги науки. Поднялись толки, возвысили голос церковники, Шумахер предложил акт отменить и перенести на другой день.

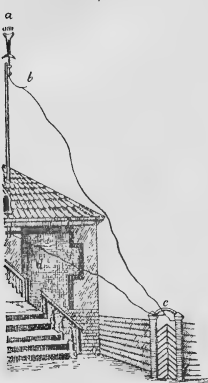


Рис. 162. «Электрическая стрела» Ломоносова.

Ломоносов настаивал на скорейшем устройстве акта. Победил Шумахер — президент известил, что акта 5 сентября не будет. Ломоносов, представляя свою речь для «апробации», энергично хлопотал, чтобы акт состоялся 25 ноября. На этот раз президент дал распоряжение, чтоб 25 ноября был акт «для публички, в котором г-н Ломоносов читать имеет слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих, и отвечать на оное г-н Гришков будет».

Но при рассмотрении речи у официального оппонента Гришова, а затем Брауна и Попова возникли «сумнительства» насчет того, что в речи Ломоносова содержатся новые теории и факты, печатание речи задерживалось. Возмущенный Ломоносов на экстренном заседании 1 ноября выступил с ответами на эти возражения, в результате Конференция постановила речь напечатать. Ломоносов обвинял Шумахера в «неправедных поступках в рассуждении моей речи, употребил все коварные свои проноски для её отставления».

Речь состоялась и была отпечатана. Шумахер разослал печатные экземпляры академикам за границу с предложением дать отзывы. Отзывы (Гейнзиус, Крафт) были благоприятны. Хвалебный отзыв прислал Эйлер. Ломоносов не ограничился эмпирическими изысканиями, его занимала мысль об универсальной теории электрических явлений. Он предполагал дать электрическую теорию северных сияний, по его предложению академия объявила конкурсную задачу «сыскать подлинную электрической силы причину и составить её точную теорию». Программу задачи составил Ломоносов.

Химические исследования Ломоносова протекали главным образом в опытах по окрашиванию мозаичных стёкол. Ломоносов проделал свыше 3000 опытов, на которые ушло почти три года работы. В результате задача получения окрашенных стёкол была решена. 4 сентября 1752 г. Ломоносов поднёс Елизавете первую мозаичную картину, на которую пошло свыше 4000 кусков стекла. В дальнейшем Ломоносов стал хлопотать об учреждении фабрики для выделки окрашенных стёкол, бисера, стекляруса и мозаичного завода. 16 марта 1753 г. Ломоносову была отведена земля и 212 дун для организации фабрики. Работа по фабрике отнимала у Ломоносова много сил и средств. Он изобретал станки, подбирали инструменты, устанавливал печи, обучал рабочих. К началу 1755 г. завод был

готов, и Ломоносов писал Шувалову: «Тем окончатся все мои великие химические труды, в которых я три года упражнялся и которые бесплодно потерять мне будет несносное мучение...». Так Ломоносов стремился довести до практических результатов научные изыскания. Надо заметить, что Усть-Рудицкий завод до самой смерти Ломоносова доставлял ему немало забот. Нехватало средств, заказы шли туго, предприятие приносило убытки, приходилось залезать в долги. Но Ломоносовский завод художественных изделий живёт и поныне, и слава о его продукции разнеслась далеко за пределы страны. За год до смерти Ломоносов за свои работы по мозаике был избран почётным членом Болонской академии наук.

6 сентября 1751 г. Ломоносов произнёс своё знаменитое «Слово о пользе химии», содержащее его химическое «кредо». Во времена Ломоносова химия носила рецептурный, полуалхимический характер. Ломоносов впервые высказывает мысль, что химия должна быть точной наукой, что истинный химик должен быть и практиком и теоретиком. Для успеха химии «требуется весьма искусной химик и глубокой математик в одном человеке». Химик не должен быть узким практиком, который бы «презирал случившиеся в трудах своих явления и перемены, служащие к истолкованию естественных тайн». Математик также не должен быть только вычислителем, любителем трудных выкладок, «но который, в изобретениях и в доказательствах привыкнув к математической строгости, в натуре сокровенную правду точным и не непопознованным порядком вывести умеет».

Сам Ломоносов задумывает, во исполнение этой программы, совершенно новый и необычный курс физической химии. Этот курс он читал в течение 1752—1754 гг. Он определяет физическую химию так: «Физическая химия есть наука, объясняющая на основании положений и опытов физики то, что происходит в смешанных телах при помощи химических операций. Она может быть названа химической философией, но в совершенно другом смысле, чем та мистическая философия, где не только не дают объяснений, но даже самые операции производят тайным образом».

Сохранилось введение в этот курс, содержащее пять глав химического введения, начало шестой главы и начало девятой главы. Ломоносов разрабатывает обширную программу физико-химических опытов, для которых ему приходилось изобретать приборы. Сохранились три рисунка приборов Ломоносова: точило для определения твёрдости, прибор для определения вязкости, «Паппенова машина», которая по мысли Ломоносова должна играть роль автоклава. В своих физико-химических исследованиях Ломоносов далеко опередил свой век. Физическая химия как наука появилась только в восьмидесятых годах XIX в.

В этот период Ломоносову пришлось выступить в защиту своих воззрений. Работы, напечатанные в «Новых комментариях», вызвали широкие отклики. Как и следовало ожидать, были и неблагоприятные отзывы, причём критики не понимали идей Ломоносова. Ломоносов указывал на заседании конференции 22 августа 1754 г., что критики превратно толкуют его теорию. В том же 1754 г. некий немецкий магистр Арнольд пожелал нанести научный капитал на опровержении теорий Ломоносова и защищал диссертацию на получение должности доцента в Эрлангенском университете «об объяснении теплоты движением частичек». Развязный доцент, придерживавшийся ортодоксальной теории теплорода, позволил себе прямое глумление над непонятными им идеями. Ломоносов не мог более оставаться равнодушным. Он написал опровержение и послал его Эйлеру. Эйлер передал опровержение Ломоносова непременно секретарю Берлинской академии Формею для напечатания в издаваемом им журнале «Новая

германская библиотека» и ответил Миллеру¹ и Ломоносову в том духе, что следует презирать недобросовестных критиков. «Я смеюсь, — писал он Ломоносову, — видя, как они терзают и стараются уронить прекраснейшее сочинение».

В своём опровержении, напечатанном Формсеем, Ломоносов, между прочим, подробно говорит об обязанностях журналистов быть добросовестными, объективными, вникающими в суть разбираемых ими трудов, освободиться от высокомерия, не торопиться порицать гипотезы и т. д. Советы Ломоносова не потеряли своего значения и в наше время.

В рассматриваемый период отмечается отход Ломоносова от физико-химических исследований, против его желания закончившийся приглашением профессора Сальхова на кафедру химии в 1755 г. Весной 1756 г. Ломоносов «внезапно увидел, что новый химик прележал и ему отдана лаборатория и квартира». Ломоносова всё более и более отвлекают для официальных празднеств, од, исторических занятий и т. д. С 1749 г. «покровителем» Ломоносова становится один из фаворитов Елизаветы гр. И. И. Шувалов. Шувалов учился у Ломоносова стихотворству и считал, что призвание Ломоносова — быть историком и поэтом. Он предлагает Ломоносову занятия русской историей. Как раз с 1749 г. в историческом собрании Академии наук у Ломоносова происходят жестокие схватки с академиком Миллером о происхождении русского народа. Миллер защищал норманскую теорию, Ломоносов — славянскую. Эта дискуссия заставила Ломоносова обратиться к русской истории. Шувалов, вероятно, не слишком понимал в естественных науках и вряд ли их ценил. На занятия Ломоносова естественным он смотрел, как на побочное дело, и письмом от 28 декабря 1752 г. предложил Ломоносову написать русскую историю, оставив



Рис. 163. Картина Ломоносова «Полтавский бой».

¹ Историк Миллер с 1754 по 1765 г. «исправлял» должность конференц-секретаря академии.

физику и химию. Ломоносов должен был согласиться, но в ответе Шувалову указывал, что на сочинение русской истории требуется время, и просит разрешить ему заниматься физикой и химией в часы досуга. «И так уповаю, что и мне на успокоение от трудов, которые я на собрание и на сочинение Российской истории и на украшение Российского слова полагаю, позволено будет в день несколько часов времени, чтобы их вместо бильярду употребить на физические и химические опыты, которые мне не токмо отменою материи вместо забавы, но и движением вместо лекарства служить имеют; и сверх сего пользу и честь отечеству, конечно, принести могут, едва меньше ли первой».

Вот на что пришлось теперь тратить время и силы Ломоносову: 29 сентября 1750 г. «Сего числа господин президент объявил именной сё императорского величества изуственный указ, коим ему, г. президенту, повелено: профессорам Тредьяковскому и Ломоносову сочинить по трагедии». Того же числа после обеда Ломоносов начал трагедию «Темира и Селим», 1 ноября она была закончена. В 1751 г. Ломоносов написал вторую трагедию «Демосфонт».

За 1750—1755 гг. Ломоносовым сочинены 34 надписи по всевозможным парадным случаям и на маскарады Елизаветы и Шувалова. Для сравнения укажем, что до 1750 г. Ломоносовым было сочинено всего 11 таких надписей. При этом Ломоносову приходилось сочинять и оформлять иллюминации.

Политическое наследство Ломоносова к этому времени также увеличилось, и в 1751 г. вышло первое издание сочинений Ломоносова. Особенно много энергии отнимали у Ломоносова заботы об устройении университета и академии. Если в предыдущем пятилетии после известного инцидента стычки Ломоносова с канцелярией и академиками прекратились, то сейчас борьба с «гонителями наук» обострилась. Она развёртывалась вокруг текущих академических дел и особенно в связи с вопросами устава академии и университета. В этот период Ломоносов составил проект Московского университета, непрестанно указывая Шувалову на необходимость учреждения последнего. В апреле 1755 г. университет в Москве был открыт. По вопросу об уставе академии и академического университета Ломоносов написал своё пространное мнение (его мы уже приводили выше). Столкновения с Таубертом чуть было не довели Ломоносова до строгого выговора. Ломоносов написал обширную записку о состоянии академии, описывая враждебные выпады против него Шумахера и Тауберта. О состоянии Ломоносова в это время можно судить по письму Шувалову от 30 декабря 1754 г.

«Милостивый государь Иван Иванович!

Из вчерашнего Вашего Превосходительства милостивого разговора приметил я, что злора преодолевает благости, подкрадываясь под святость высочайших повелений: и так ежели не возможно, чтобы я по моему всепокорнейшему прошению был произведён в академики, для пресечения коварных предприятий; то всеуниженно Ваше Превосходительство прошу, чтобы Вашим отеческим предстательством переведён я был в другой корпус; а лучше всего в иностранную коллегию, где не меньше могу принести пользы и чести отечеству; а особливо имея случай употребить вспоможение архива к продолжению Российской истории. Я прошу Всевышнего господя бога, дабы он воздвиг и ободрил Ваше великодушное сердце в мою помощь, и чрез Вас бы сотворил со мною знамение во благо: да видит ненавидящий мя

и постыдятся; яко господь помог ми и утешил мя есть, из двух единым: дабы им все сказали: Камень его же не брегоша зиждущей, сей бысть во главу угла от господа бысть сей; или бы в моё отбытие из Академии ясно оказалось, чего она лишилась, потеряв такого человека, который чрез толь много лет украшал оную, и всегда с гонительными наук боролся, не смотря на свои опасности. Ожидая того, или другаго в твёрдом на милостивейшее Ваше ходатайство уповании с усердным глубокопочитанием пребываю

Вашего Превосходительства всепокорнейший и низжайший слуга Михайло Ломоносов.

Таков итог десятилетней профессорской деятельности Ломоносова: постановка им вопроса об уходе из академии. Но он попрежнему сознаёт своё высокое значение для науки и России. Ни враги, ни покровители не могли заставить Ломоносова отказаться от своей цели: привести как можно больше пользы отечеству. Таким он вступает во второе и последнее десятилетие академической работы.

Период
1756—1765 гг.

Несмотря на коренное изменение направления академической деятельности Ломоносова, он не оставляет занятий любимыми науками. Он задумывает обширный план теории эфира («Трактат о природе эфира, разработанный геометрическим методом», 1756 г.). До нас ничего не дошло из этого трактата, но сохранились заметки, относящиеся к другому сочинению — «Теория элек-

тричества, разработанная математическим путем», начатого в том же 1756 г., и начало последнего сочинения. В результате этих начинаний и своих химических изысканий о цветах и красках у Ломоносова возникла теория света и цветов, изложенная им в «Слове о происхождении света, новую теорию о цветах представляющую». Слово это было произнесено на публичном заседании Академии наук 1 июля 1756 г. Свидетельство интереса Ломоносова к оптике мы находим и в задуманных им опытах по преломлению света в различных средах, и в проекте почезрительной трубы, незаслуженно подвергнутому осуждению как современников, так и последующих учёных, и в многочисленных проектах улучшения оптических приборов. «Химические и оптические записки» — рукописный сборник заметок, начало диссертации

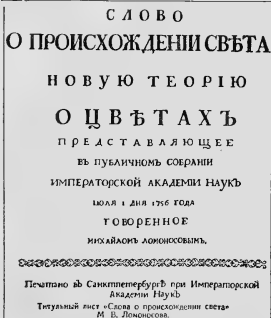


Рис. 164. Титул «Слова о происхождении света».

«Новый способ наблюдения преломления лучей во всякого рода прозрачных телах» отражают эту работу Ломоносова.

Из других физических проблем внимание Ломоносова привлекает вопрос о связи массы и веса. Он предлагал академии объявить задачу на эту тему и сам 30 января 1758 г. представил в Конференцию диссертацию «Об отношении количества материи и веса».

В связи с открытием академиком Брауном в Петербурге замерзания ртути (25 декабря 1759 г.), Ломоносов написал в 1760 г. «Рассуждение

о твёрдости и жидкости тел», которое было прочитано вместе с сообщением Брауна 6 сентября 1760 г. Это «Рассуждение» было напечатано в октябре того же года и явилось первой печатной публикацией закона сохранения движения и материи.

В связи с открытием Брауна Ломоносов писал в «Истории академической канцелярии»: «а что на Брауна уже не первый раз они (т. е. Тауберт и прибывший в 1757 г. академик Эпинус) нападают за его несклонность к их коварствам, то свидетельствует их поступок, когда он ртуть заморозил: ибо Миллер написал в Лейпциг именем Академии без её ведома, якобы начало сего нового опыта произошло от профессора Цейгера и Эпинуса, и Брауну якобы по случаю удалось как петуху сыскать жемчужное зерно».

С прибывшим в 1757 г. в Петербург академиком Эпинусом, о котором мы говорили выше в связи с историей электричества, у Ломоносова установились неприязненные отношения. Ломоносов обвинял Эпинуса в небрежном отношении к физическому кабинету, в саботаже интересов русской науки. Эпинус был несомненно крупной фигурой. Наиболее плодотворным периодом его деятельности является Петербургский период (1757—1798), когда был написан его известный труд «Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi», были проведены исследования шрозлектричества турмалина и написан ряд работ по магнетизму и астрономии. Но, с другой стороны, Эпинус, вероятно, был склонен угождать сильным мира сего, и недаром Екатерина выбрала его в воспитатели сыну Павлу.

Столкновения с Таубертом, сменившим Шумахера, Тепловым (бывшим воспитателем президента Разумовского, ставшим также у кормила правления) и другими у Ломоносова за этот период возросли, так же как и вырос круг его академических обязанностей. В 1757 г. он был назначен советником канцелярии, а с марта 1758 г. ему были поручены Историческое и Географическое собрание, гимназия и университет.

Вполне понятно, что заботы о приведении академии, университета и гимназии в «доброе состояние» стояли теперь у Ломоносова на первом месте. Гимназия была запущена, содержание учащихся было скверное, жили и занимались они в полуразвалившемся здании, зимой замерзали чернила, учащиеся от невыносимых условий «ударялись в бега», были в



Испытаніе натуры трудно, Слушатели, однако приятно, полезно, свято. Чѣмъ больше тайнства ся разумѣ постигаеѣтъ тѣмъ вящше увеселеніе чувствуетѣ сердце. Чѣмъ далѣе раченіе наше въ оной простирается, тѣмъ обильнѣе собираеѣтъ плоды, для потребностей житейскихъ. Чѣмъ глубже до самыхъ причинъ толь чудныхъ дѣлъ проникаеѣтъ рассужденіе, тѣмъ яснѣе показывается непостижимый всего бытія Строитель. Его всемогущества, величества и премудрости видимый сей міръ есть первый, общій, недолжный и неумолчный проповѣдникъ. Небеса повѣдають славу божию. Селеніе свое положилъ онъ въ солнцѣ: то есть, въ немъ сіаніе божества своего показалъ яснѣе, нежели въ другихъ тваряхъ. Оно по неизмѣримой обширности всемірнаго строенія, за далѣйшія планеты сіаеѣтъ беспрестанно, распростирая, превосходящее мечтаніе челоѣческое скоростію, непонятное лучей множество. Си беспрестанные и молній несравненно быстрѣйшіе, но кропкіе и благопріятные

Рис. 165. Страница из «Слова о происхождении света».

бегах и учителя. Ломоносов принимал самые энергичные меры к приведению гимназии в нормальное состояние. Воевал с Таубертом из-за помещения и в конце концов добился, что купленный академией дом Строганова был отдан университету и гимназии. Когда студенты принесли жалобу на инспектора Модераха, дурно их содержавшего, Ломоносов своей властью без санкции президента отстранил его от обязанностей инспектора, назначив инспектором Котельникова «как россиянина природного, который бы имел большее попечение об учащихся как о своих свойственниках». Ломоносов мог отметить в рапорте 1763 г., что при нём окончил гимназию 20 человек, тогда как при Шумахере ни одного. Но тщетно он добивался от императрицы привилегии для университета. Свидетельством его неоднократных и тщетных хлопот по этому поводу являются «Стихи, сочинённые на дороге в Петергоф, когда сочинитель в 1761 г. ехал просить о подписании привилегии для академии, быв много раз прежде за тем же»:

Кузнечик дорогой, коль много ты блажен,
Коль больше пред людьми ты счастьем одарён!
Препровождаешь жизнь меж лёгкою травой,
И наслаждаешься медвяною росой.
Хотя у многих ты в глазах презренна тварь;
Но в самой истине ты перед нами царь;
Ты ангел во плоти; иль лучше ты бесплотен!
Ты скачешь и поёшь, свободен, беззаботен,
Что видишь, всё своё, везде в своем дому,
Не просишь ни о чём, не должен никому.

В том же 1761 г. Ломоносов писал Тенлову: «За общую пользу, а особливо за утверждение наук в отечестве и против отца своего родного восстать за грех не ставлю... Что ж до меня надлежит, то я к сему себя посвятил, чтобы до гроба моего с неприятельми наук Российских бороться, как уж борюсь двадцать лет; стоял за них смолоду, на старость не покину».

Борьба с «неприятельми наук» велась и вне академии. Ломоносову пришлось в России продолжать дело Галилея, вести борьбу за новое мировоззрение. Еще в 1744 г. в своей оде «Вечернее размышление о божьем величье» он писал:

... Открылась бездна звёзд полна,
Звездам числа нет, бездне дна.
Песчишка как в морских волнах
Как мала искра в вечном льде,
Как в сильном вихре тонкий прах,
В свирепом как перо огне,
Так я в сей бездне углублён
Теряюсь, мыслями утомлён!
Уста премудрых нам гласят:
Там разных множество светов;
Несчётны солнца там горят,
Народы там и круг веков...

Православная церковь заняла резко отрицательную позицию по отношению к системе Коперника, и Ломоносов очень настаивал в своём проекте устава университета и академии, чтобы духовенство не мешало развитию наук. Антиклерикальная позиция Ломоносова нашла своё отражение в «Гимне бороде», в котором высмеивается борода — «завеса ложных мнений». «Гимн» ходил в стихах без подписи, однако скоро стало известно, что автор его Ломоносов. Ломоносов вскоре написал и другое стихотворение, в связи со злобной реакцией церковников, где издевательски говорит:

Козлята малые рождаются с бородами —
Коль много почтены они перед попами.

После этого Синод уже решил выступить официально и просить у императрицы «Высочайшим своим указом таковые соблазнительные ругательные напiski истребить и публично жечь и впредь то чинить запретить, и означенного Ломоносова для надлежащего в том увещания и исправления в Синод отослать».

26 мая 1761 г. Ломоносов наблюдал редкое астрономическое явление — прохождение Венеры по диску Солнца. Официальные астрономи-



Ломоносов.

ческие наблюдения в России вели Красильников и Курганов. Ломоносов наблюдал это явление «приватно», у себя на квартире. И он открыл то, чего не заметил ни один из астрономов Европы, наблюдавших то же явление, — открыл атмосферу Венеры. Это открытие приписывалось потом астроному Гершелю. В статье «Явление Венеры на Солнце наблюдаемое» Ломоносов, описав явление и свои наблюдения, делает «изъяснение» «до чтецов писания и ревнителей к православию, кое святое дело само собою похвально, есть ли бы иногда не препятствовало излишеством высоких наук приращению». Защищая учение о множестве миров и систему Коперника, Ломоносов пишет в духе знаменитого Галилеевского письма к Кастелли в духе теории о двоякой истине. Но теперь уже Ломоносов прибегает и к язвительной насмешке над «ревнителями». У него в арсенале и шутка Сирано де Бержерака, переложенная им в стихе о поваре, разрешающем спор астрономов коперниканца и птолемея (диалог!) простым аргументом:

Кто видел простака из поваров такого,
Который бы вертел очаг кругом жаркова.

Но особенно смелым и прямо бьющим по евангельскому догмату о спасении мира от первородного греха Христом является следующее возражение Ломоносова, подкрепляющего свою насмешку издевательски звучащими евангельскими текстами:

«Некоторые спрашивают, ежели де на планетах есть живущие нам подобные люди, то какой они веры? Проповедано ли им Евангелие? Крещены ли они в веру Христову? Сим даётся ответ вопросной. В южных великих землях, коих берега в нынешние времена почти только примечены мореплавателями, тамошние жители, также и в других неведомых землях обитатели, люди видом, языком, и всеми поведением от нас отменные, какой веры? И кто им проповедал Евангелие? Ежели кто про то знать или их обратить и крестить хочет, тот пусть по Евангельскому слову (не стяжите ни злата ни сребра ни меди при поясах ваших, ни меры на пути, ни двоя рузу, ни сапог, ни жезла) туда пойдёт. И как свою проповедь окончит, то после поедет для того же и на Венеру. Только бы труд его не был напрасен. Может быть тамошние люди в Адаме не согрешили: и для того всех из того следствий не надобно».

Как видим, в далёкой православной Руси происходит переключки с французскими материалистами в выступлениях против поповщины, и ленинскую характеристику бойкой, живой, талантливой, открыто нападающей на поповщину публицистики старых атеистов XVIII в. нужно отнести и к Ломоносову.

Надо отметить, что астрономические занятия Ломоносова в этот период не были случайным эпизодом, они тесно связаны с его занятиями в географическом департаменте. Работе этого департамента Ломоносов стремился придать новый, истинно ломоносовский размах. Он задумал не только исправить неверный атлас России 1745 г., но и составить точное географо-экономическое и историческое описание России, с привлечением широких кругов населения. Им был разработан опросный лист из 30 пунктов. Этот лист был в 1759 и 1760 гг. разослан по городам, далее им были затребованы сведения о населении каждой деревни, были приняты меры по организации двух экспедиций для точного определения координат важных пунктов. Недуги Ломоносова сорвали эту важную работу.

В связи с географическими занятиями Ломоносов публикует ряд важных работ. 8 мая 1759 г. он произносит речь «Рассуждение о большой точности морского пути», содержащую много ценных мыслей и предложений, в частности предложение об организации международной мореплавательной академии и о расширении работ по земному магнетизму, геофизике и метеорологии.

Другой географической работой Ломоносова было «Краткое описание разных путешествий по Северным морям и показание возможного проходу Сибирским Океаном в Восточную Индию», в которой Ломоносов выступает поборником идеи Северного морского пути. Ломоносов много думал об освоении богатств Севера, изучал историю путешествий по Северному Ледовитому океану и был твёрдо убеждён в возможности Северовосточного прохода в Тихий океан.

В первой песне его поэмы «Пётр Великий» герой поэмы говорит:

Какая похвала Российскому народу
Судьбой дапа, пройти покрыту льдами воду,
Хотя там кажется поставлен плыть предел;
Но бодрость подают примеры славных дел.

Колумбы Россские, презрев угрюмый рок,
Меж льдами новый путь отворят на восток,
И паша достигнет в Америку держава...

Здесь, как и во многих других случаях, мы имеем пример блестящего научного предвидения Ломоносова.

Интерес к Северу нашёл свое отражение в работе «Мысли о происхождении ледяных гор в Северных морях», представленной Шведской академии, избравшей его почётным членом, где Ломоносов высказывает теорию происхождения ледяных гор от материкового ледника.

В том же 1763 г., в котором была написана эта работа, появилась законченная двадцатью годами раньше «Металлургия» Ломоносова. К ней были приложены два прибавления: первое «О вольном движении воздуха, в рудниках примеченное», извлеченное из 1-го тома «Новых Комментариев», и второе «О слоях земных», которое вместе со «Словом о рождении металлов от трясения земли» представляет вклад Ломоносова в геологическую науку. Здесь Ломоносов проводит идею об эволюции земной коры, новую и революционную для того времени. В декабре 1763 г. Ломоносов задумал большой труд «Общую систему Российской минералогии», к изданию которого он намеревался привлечь местных любителей-краеведов. Но этот труд не был закончен.

В ноябре 1761 г. Ломоносов написал знаменитое письмо Шувалову «О размножении Российского народа», характеризующее Ломоносова как государственного мыслителя, проникнутое горячей любовью к родному народу и страстным желанием устранить язвы современной ему русской жизни.

Предлагая ряд разумных мер, направленных к устранению бытовых ненормальностей (неравные браки, внебрачные дети, санитарно-медицинские мероприятия), Ломоносов особо останавливается на «невеждах попах», несущих значительную долю ответственности за печальные явления в жизни русского народа. Он выступает против постов, против разгула в дни церковных праздников и т. д. Понятно, что светлые и гуманные мысли Ломоносова казались слишком революционными для того времени, и письмо не было опубликовано до 1871 г.

Наконец, остановимся на трудах Ломоносова по истории, языку и его литературным занятиям.

В 1757 г. Московский университет издал собрание сочинений Ломоносова. Это было второе по счёту издание. К изданию был приложен портрет Ломоносова. Шувалов просил Ломоносова дать стихотворную надпись к портрету. Ломоносов ответил отказом. Этот отказ свидетельствует о скромности Ломоносова, который требует только того, «что мне надлежит по справедливости... и что больше отчеству, нежели мне, пужно и полезно». Стихи всё же были приложены, их авторство приписывают самому Шувалову, но они сочинены Поповским, учеником Ломоносова, первым профессором Московского университета, автором перевода «Опыта о человеке» английского поэта Попа.

В том же 1757 г. появилась статья «О пользе книг церковных на российском языке», в которой излагается взгляд Ломоносова на русский литературный «стиль». Ломоносов проделал огромную работу по очищению русского литературного языка от варваризмов, в результате которой «стиль российский в минувшие двадцать лет (писано в 1762 г.) несравненно вычистился перед прежним и много способнее стал к выражениям идей трудных».

В 1760 г. появился первый печатный труд Ломоносова по истории «Краткой российской летописец», а подготовленная им к печати первая часть «Древней Российской истории» вышла уже после его смерти в 1766 г. За несколько месяцев до смерти Ломоносов составил новый проект устава Академии наук, основная идея которого — принести истинную пользу

наукам в России, и предпринимал все зависящие от него шаги, чтобы ускорить утверждение устава и даже составил проект соответствующего указа, но всё было тщетно.

В марте Ломоносов простудился и 4 апреля 1765 г. скончался. Ломоносов умирал в тяжёлом сознании гибели всех своих начинаний. «Друг мой, — сказал он перед кончиной академику Штеллину, — я вижу, что я должен умереть, и спокойно и равнодушно смотрю на смерть; жалею только о том, что не мог я совершить всего того, что предпринял я для пользы отечества, для приращення наук и для славы академии, и теперь при конце жизни моей должен видеть, что все мои полезные намерения исчезнут вместе со мной».

Ломоносов был прав и не прав. Он ясно сознавал невозможность осуществления в царской крепостнической России тех идеалов, за которые он боролся всю жизнь. Через полтора года после его смерти, за несколько месяцев до своей смерти, другой великий русский ученый Пётр Николаевич Лебедев с горечью писал о невыносимых «ломоносовских» условиях русской научной работы, писал о том, что в ужасающем количестве гибнут творческие научные замыслы, и то, что достигается, достигается вопреки этим условиям.

Но Ломоносов был не прав, говоря о полной гибели его дела. Оно не погибло. Великое имя Ломоносова вдохновляло и продолжает вдохновлять русскую научную мысль. Настало время для осуществления его заветной мечты о произрастании многочисленных Ломоносовых, и по-новому воспринимает советская молодежь дошедший к ней через века призыв:

О, вы, которых ожидает
Отечество из недр своих
И видеть таковых желает,
Каких зовёт от стран чужих,
О, ваши дни благословенны!
Держайте ныне ободренны
Раченьем вашим показать,
Что может собственных Платонов
И быстрых разумом Невтонов
Российская земля рождать.

Приступая к оценке научных результатов Ломоносова и характеристике его физических воззрений, необходимо обратить внимание на исключительный диапазон деятельности Ломоносова. Механика, физика, химия, метеорология, география, металлургия, геология, технология, философия, экономика, история, филология, литература — во всех этих областях знания Ломоносов сказал свое слово. Это обстоятельство делает исключительно трудной задачу характеристики Ломоносова, пожалуй даже невозможной. Те или иные стороны деятельности Ломоносова выступают на первый план, заставляя забывать о других. Так, например, случилось, что на протяжении полутора десятилетий научная деятельность Ломоносова оставалась в тени. Ломоносов оценивался как поэт, литератор, филолог, историк. Только Пушкину впервые удалось дать точную характеристику «первого русского Университета» и обратить внимание на напряжённую, многогранную научную работу Ломоносова. Но, несмотря на это указание Пушкина, специалисты, вплоть до известных исследований Меншуткина, «открывшего» Ломоносова, всё ещё продолжали недооценивать научное наследство Ломоносова и его роль в истории науки.

Научные
результаты
Ломоносова
и его физические
воззрения.

Эта недооценка имеет место и в настоящее время. Она выражается в том, что Ломоносова считают одиночкой, стоящим особняком в общем ходе развития современной ему науки, которого мало кто знал и понимал и которого поэтому так легко забыли.

Ломоносова считают самородком, почти что самоучкой, который из всей западной науки узнал чуть ли не одного только Вольфа. Это — глубокое заблуждение. Ломоносов был связан тысячами нитей с современной ему наукой, а научная эрудиция его была огромна. Он изучил не только Вольфа. Он знал Декарта, Гюйгенса, Ньютона, Пашина, Мальпигия, Амонтона и других. Он был в курсе современных ему научных новинок: Эйлер, Бернулли, Франклин и даже Вольтер изучались им. В его библиотеке был и труд Босковича, вышедший незадолго до его смерти.

Законченные и опубликованные исследования Ломоносова были известны на Западе и привлекали большое внимание. Другое дело, что новые и смелые идеи Ломоносова не всегда усваивались современниками, что Ломоносов шёл «против течения», но никто из современников не сомневался в осведомлённости его в общепринятых воззрениях и в возникавших проблемах. Из современников Ломоносова его высоко ценил Эйлер, во многом разделявший его воззрения и на которого Ломоносов несомненно оказали сильное влияние, о чём свидетельствуют эйлеровские «Письма к немецкой принцессе». Его научные заслуги получили и официальное признание в избрании его почётным членом Болонской и Шведской академий.

Конечно, по условиям своей работы Ломоносов не смог завершить многих своих научных планов. Но и то, что им было закончено, представляло вклад в науку исключительного значения.

Перечислим ещё раз вкратце эти основные научные достижения Ломоносова. Ломоносов — автор кинетической теории тепла, основоположник кинетической теории газов, автор закона сохранения движения и материи. Им было предсказано существование абсолютного нуля, объяснён из кинетических соображений закон Бойля и указано на отступления от этого закона при больших давлениях, связанных с введением поправок на объём молекул.

Ломоносов является предшественником Дальтона в молекулярно-атомном обосновании химии. Прежде Лавуазье, Ломоносов вводит в химию весы и доказывает неправильность мнения об увеличении веса металлов при обжигании: «Между разными химическими опытами, которых журнал на 13 листах, деланы опыты в заплавленных накрепко стеклянных сосудах, чтобы исследовать, прибывает ли вес металлов от чистого жару. Оными опытами нашлось, что славного Роберта Бойля мнение ложно, ибо без пропускания внешнего воздуха вес сожжённого металла остаётся в одной мере», — пишет Ломоносов в отчёте за 1756 г. В другом отчёте (1753) мы читаем:

«С покойным проф. Рихманом делал химико-физические опыты в лаборатории для исследования градуса теплоты, который на себя вода принимает от погашенных в ней минералов, прежде раскалённых». Таким образом, Ломоносов, вместе с Рихманом, является одним из основоположников калориметрии. Ломоносов занимался также измерением коэффициента объёмного расширения газов (воздуха).

Если принять, по Меншуткину, шкалу ломоносовского термометра за 150, то его определения дают $\alpha = 1/_{550}$ или, в пересчёте на 100-градусную шкалу, $1/_{367}$, т. е. около 0,003. Это хороший результат по сравнению с результатами знаменитостей того времени: у Ла-Гира 0,04, Мушенбрека 0,006, Пристли 0,01. Трудность определения коэффициента обуславливала

такое значительное расхождение, и только в начале XIX в. Дальтону и Гей-Люссаку удалось добиться согласующихся результатов¹.

В области электрических явлений мы знаем попытку Ломоносова дать эфирную теорию электричества, знаем, что он высказал мысль о связи электричества и света, мысль об электрической природе северных сияний, мысль о вертикальных воздушных течениях как источнике атмосферного электричества и, наконец, знаем его наблюдение о наличии электричества в атмосфере «без грома и треску».

В оптике Ломоносовым проделана большая работа по конструированию оптических приборов, в частности проект незрительной трубы, произведены многочисленные изыскания по цветам и красителям, исследовалось преломление света в растворах. Ему же принадлежит критика теории истечения и пропаганда гюйгенсовской волновой теории света.

В области метеорологии Ломоносову принадлежит идея о зондировании верхних слоёв атмосферы самопишущими приборами, идея об организации разветвлённой метеосети. Им было произведено большое количество наблюдений воздушного давления, температуры атмосферы, атмосферного электричества и оптики.

Весьма интересен изобретённый Ломоносовым чувствительный прибор — универсальный барометр. Конструкция прибора такова: барометрическая трубка с расширенным верхом A соединяется капиллярной трубкой с резервуаром B , заполненным сухим воздухом. Прибор погружён в термостат (такойой лёд), так что упругость воздуха в B остаётся постоянной и равной $P = H\delta g$, где H — высота ртутного столба в барометрической трубке, δ — плотность ртути, g — ускорение тяжести. Прибор позволяет отмечать колебания этой последней величины по изменению колебания ртутного столбика в капилляре.

В астрономии Ломоносов сделал важное открытие атмосферы Венеры. В географии Ломоносов является пропагандистом Северного морского пути и предсказывает наличие Северо-восточного пути в Индию. В геоло-

¹ В «Слове о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих», читаем: «Опыты для определения разной густоты воздуха в разных градусах теплоты, при всех прочих обстоятельствах равных, учинены мною, в манометрических трубках, равной ширины, без шариков. Хотя разное количество газов распространения пропорцию переменило; однако посредственная нашла нарочито правильна, т. е. воздух, 60 градусов ниже предела замерзания, к воздуху, что имеет теплоту при оном пределе, есть в рассуждении пространства как 10 к 11; но к тому, который состоит в 50 градусах выше предела замерзания, есть 10 к 12 или 5 к 6. Для сего четвёртому градусу теплоты выше предела замерзания отвечает пространство воздуха 554; градусу под пределом замерзания 131 отвечает пространство воздуха 419. Того ради пространство оного к пространству сего будет как 554 к 419 или почти как 4 к 3».

Следовательно, по Ломоносову,

$$\frac{v_{-50}}{v_0} = 1 - \alpha \cdot 50 = \frac{10}{11}; \quad \alpha = \frac{1}{550}; \quad \frac{v_{-50}}{v_{50}} = \frac{1 - 50\alpha}{1 + 50\alpha} = \frac{5}{6};$$

$$\alpha = \frac{1}{550}; \quad \frac{v_4}{v_{-131}} = \frac{1 + \alpha \cdot 4}{1 - \alpha \cdot 131} = \frac{554}{419}; \quad \alpha = \frac{1}{550}.$$

Так как

$$v_1 = v_0 (1 + \alpha t_{\text{лом}}) = v_0 \left(1 + \beta \frac{2}{3}\right), \quad \text{то} \quad \frac{1}{550} \alpha = \beta \frac{2}{3}; \quad \beta = \frac{3}{1100} = \frac{1}{367}.$$

В диссертации о тепле и холоде Ломоносов приводит другое более точное значение коэффициента расширения — $1/300$.

гии Ломоносов развивает идеи об историческом процессе образования «слоёв земных».

Ломоносов оставил большое количество идей, реализация которых осуществлена была наукой только спустя 100—150 лет после его смерти. Отметим, например, два частных, но очень существенных факта, ярко иллюстрирующих изумительную проницательность Ломоносова. Записывая наблюдение, что паэлектризованная чашка весов притягивается к железной плите, Ломоносов делает вывод: «Весами можно весить электрическую силу, однако сие ещё в действие не приведено». «Сие» было «приведено в действие» только В. Томсоном, построившим абсолютный электрометр.

Разрабатывая программу теории электричества, Ломоносов записывает: «Надо сделать опыт, будет ли луч света иначе преломляться в паэлектризованном стекле и воде».

Такой опыт был осуществлён в 1875 г. К е р р о м, открывшим электрическое двойное лучепреломление. Значение эффекта Керра в современной технике общеизвестно.

Все эти и подобные им научные предвидения не были у Ломоносова случайными догадками. Как это было впоследствии у Фарадея, у Ломоносова его идеи являлись результатом стройного научного материалистического мировоззрения. Известно, что Фарадей называл себя философом. Таким же равносторонним и глубоким философом был Ломоносов, который мечтал написать грандиозную корпускулярную философию природы, объясняющую все явления живой и неорганической природы с единой точки зрения. Замысел Ломоносова не был осуществлён, но по сохранившимся работам и заметкам мы можем восстановить мировоззрение Ломоносова.

«Сами свой разум употребляйте. Меня за Аристотеля, Картезия, Невтона не почитайте. Если вы мне их имя дадите, то знайте, что вы холошья», гласит одна из заметок Ломоносова.

И действительно, Ломоносов в своём ярком и самобытном мышлении не был ни чистым картезианцем, ни ньютономцем. Он был прежде всего более последовательным материалистом, чем названные учёные.

В его план входило последовательное материалистическое объяснение всех явлений природы: «как бы одним взглядом охватывать совокупность всей вещей», руководствуясь одной основной идеей: «природа крепко держится своих законов и всюду одинакова». Именно поэтому в его научной системе такую огромную роль играет закон сохранения материи и движения, который он хотя и не считал своим открытием, поскольку принцип сохранения движения был сформулирован уже Декартом, однако развил его и применил на практике так широко, как никто из его современников и предшественников.

Мы считаем необходимым рассмотреть этот пункт подробнее. В нашей литературе существует немало путаницы вокруг «закона Ломоносова». Можно ли считать Ломоносова автором закона сохранения энергии или нет — вот вопрос, который прежде всего интересует преподавателя. Обращаясь к литературе, он находит, что одни авторы безоговорочно приписывают Ломоносову авторство в законе сохранения вещества и энергии, другие говорят более осторожно о законе сохранения материи и движения, третьи отказывают Ломоносову в каких-либо правах на авторство в законе сохранения энергии и соглашаются признать его автором закона сохранения вещества на основании опыта с обжиганием металлов в запаянных сосудах. Не внесла ясности в этот вопрос и статья С. И. Вавилова «Закон Ломоносова», опубликованная в «Правде» 5 января 1949 г., хотя на наш взгляд С. И. Вавилов ближе всего подошёл к сути дела.

Напомним Ломоносовскую формулировку:

«Все изменения, случающиеся в природе, происходят так, что если что-либо прибавится к чему-либо, то столько же отнимается и от чего-то другого. Так, сколько к какому-нибудь телу присоединяется материя, столько же отнимается от другого; сколько часов я употребляю на сон, столько же отнимаю от бдения (подчёркнуто мной — *П. К.*) и т. д. Так как этот закон природы всеобщ, то он простирается даже в самые правила движения: тело, побуждающее своим толчком другое к движению, столько же теряет своего движения, сколько сообщает другому, движимому им».

Прежде всего возникает вопрос, почему Ломоносов не выделяет своей формулировки и не отмечает её в своём «конспекте важнейших теорем, которыми обогатил науку Михаил Ломоносов».

Очевидно потому, что он не считал её новой. Его закон представляет собой развитие известного с древности принципа «из ничего ничего не бывает». Заключительная часть формулировки Ломоносова почти дословно совпадает с формулировкой Декарта (см. выше, стр. 167). И всё же С. И. Вавилов прав, считая процитированное нами место из Ломоносова «законом Ломоносова» или, лучше сказать, «принципом Ломоносова». Научное мышление не позволяет рассматривать природу как цепь бес-связных хаотических изменений. Верно, что в природе всё непрерывно изменяется, «всё течёт», одно явление сменяется другим. Но вместе с тем за этой сменой явлений скрывается некоторое постоянство, некоторый неизменный порядок, который и стремится раскрыть наука. «У нас есть убеждение в существовании внешнего мира и критерии отличить действительность от иллюзии, — писал известный русский физик В. К. Лебединский. — Оба эти убеждения основаны на одном и том же; явления повторяются, становятся обычными, находятся в связи одно с другим и заставляют нас принимать внешний мир с обликом постоянства независимого от нас существования; все необычное, бесвязное, неожиданное, редкое уже вносит в ощущение характер грёзы. Эти вопросы лежат в основании всякой науки, стремящейся к истине. . . Наука решает их в том же смысле, как и общее мнение, но в более точной форме: внешний мир есть ряд неизбежно связанных явлений; всякий момент его существования есть следствие предыдущего, происшедшего по строго определенным законам, доступным научному исследованию, абсолютно не зависящим от нашего воображения»¹.

Вот это неперенное условие научного познания, признание постоянной закономерности в природе, постоянства, сохранения в вечно текущем потоке явлений и выдвигает Ломоносов. Он обращает внимание на то, что даже в таком восприятии, как время, которое Ньютон считает чистой длительностью, имеет место принцип сохранения — **с о х р а н е н и е** **и н т е р в а л а**. Известно, какую роль играет этот принцип в современной физике (вспомним вопрос о времени жизни мезона), придавшей ему точную форму: инвариантность четырёхмерного пространственно-временного интервала. Конечно, Ломоносов не мог дать точной формулировки частных законов сохранения (кроме разве закона сохранения массы), но он правильно указал, что любое научное описание изменений, происходящих в природе, должно опираться на законы сохранения в той или иной форме, и этот принцип Ломоносова блестяще подтверждался и подтверждается всем ходом развития науки, развиваясь и обогащаясь с каждым новым научным открытием

¹ В. К. Лебединский, Лекции по физике, СПб, 1903, стр. 24.

В последующем изложении мы увидим, какую роль играл этот принцип в научной системе самого Ломоносова.

Замысел Ломоносова начинается впервые раскрываться в работе «Опыт теории о нечувствительных частицах тел и вообще о причинах частных качеств». Первые же страницы заставляют вспомнить «Начала» Ньютона, которые в дальнейшем цитируются Ломоносовым. Но Ньютон начинает с определения количеств материи и движения, Ломоносов же начинает с понятия материального тела, которое им определяется как «протяжённость, обладающая силой инерции». «Под протяжением понимают размеры по длине, ширине и глубине. Силой инерции называют то, чем одно тело сопротивляется другому». В «присовокуплении 1» Ломоносов указывает, что сущность тел состоит в протяжении и силе инерции; в «присовокуплении 4» поясняет, что поскольку «тело силой инерции противодействует другому, то... пространство, заполненное каким-либо телом, не может принять другого тела, это и есть то, что называется несопротивляемостью». В определении 2 материя определяется как «то, из чего состоит тело и от чего зависит его сущность». «Следовательно, — заключает Ломоносов в «присовокуплении 1», — протяжение и сила инерции тел зависят от материи».

Уже эти два определения с разъясняющими их смысл «присовокуплениями» показывают, в чём Ломоносов расходится с Ньютоном в основных началах. Если у Ньютона пространство отделено от материи, то у Ломоносова протяжённость и инерция суть неотъемлемые атрибуты материи, причём сила протяжённости зависит от материи, т. е. немыслима вне материи. Связь инерции и материи такова, что «сила инерции пропорциональна количеству материи», и, следовательно («присовокупление 3»), «если два тела одинаковой протяжённости различаются силой инерции, то обладающее большей силой инерции тело имеет более плотную материю, чем то, сила инерции которого меньше».

В отличие от Ньютона, Ломоносов не считает возможным начинать с измерения материи по весу (определение 1 «Начала»), и это не случайно. Именно в этом пункте Ломоносов окончательно расходится с Ньютоном. Но об этом мы будем говорить далее. Здесь же мы констатируем, что для количественной оценки материи, по Ломоносову, может служить только инерция. В дальнейшем расхождение нарастает. Инерция, как показывает дальнейшее определение, проявляется во взаимодействиях тел.

Определение 3 ломоносовского «Опыта» гласит: «Говорят, что тело действует на другое, когда оно производит в нём изменение, тело противодействует, когда сопротивляется другому, действующему на него, и тем самым производит в нём изменение». В «присовокуплениях» к этому определению указывается, что действие всегда сопровождается противодействием, и далее определяется, что «изменение, произведённое действием и противодействием, называется эффектом...» Действующее тело производит эффект в противодействующем, и наоборот.

Отсюда замечательный взгляд Ломоносова на природу тел, выраженный в определении 5 (§ 16): «Природа тел есть деятельная сила, от которой происходят действия тел». В «присовокуплении» добавляется § 17: «Природа состоит в действии и противодействии». Это прекрасный образец диалектики у Ломоносова. Позднее эту мысль повторяет почти буквально теми же словами Дидро. Отчётливо видно, как Ломоносов стремится преодолеть ньютоновскую метафизику, прежде всего отрыв материи от движения. К вопросу о движении Ломоносов сейчас же переходит, и хотя в силу исторической ограниченности он понимает под движением только механическое перемещение (определение 6), он поднимается в этом вопросе

на огромную высоту. Привлекая и авторитет Ньютона (Ломоносов почти дословно приводит 2-е правило философствования из ньютоновских «Начал»), он в результате приходит к выводу, что все взаимодействия тел обусловлены движением. В § 32 говорится, что природа тел состоит в действии и противодействии (§ 17), а так как они не могут происходить без движения (предыдущий параграф 31 посвящён у Ломоносова доказательству положения: «Тела не могут ни действовать, ни противодействовать взаимно без движения»), «то природа тел состоит в движении и, следовательно, тела определяются движением (§ 16)».

При чтении этого правила невольно вспоминается мысль Энгельса, высказанная им в письме к Марксу: «Лишь в движении тело обнаруживает, что оно есть»¹. Но, конечно, Ломоносов не мог ещё подняться до вершин научной диалектики. Как было сказано, он понимает под движением чисто механическое перемещение, к которому сводятся все изменения в телах: «Всё, что есть в телах или совершается в них, происходит от конечного протяжения, силы инерции и движения их... При изменении сил инерции, фигуры или движения, всех вместе или чего-либо в отдельности должно измениться и существующее или совершающееся в телах, всё или частично». Эти изменения вызываются или толчком, или притяжением, о котором Ломоносов говорит в «определении 8»: «§ 39. Если тело *B* приближается к покоящемуся телу *A* без видимого толчка, то говорят, что тело *A* притягивает тело *B*. Настоящее притяжение бывает, когда нельзя предположить какого-нибудь толчка, кажущегося же тогда, когда на вид тело *B* притягивается телом *A*, а на самом деле получает толчок от него или от другого нечувствительного тела».

С этого пункта Ломоносов включается в знаменитую дискуссию о природе тяготения. Приведя пример кажущегося тяготения, Ломоносов пишет: «Знаменитый Бернулли большинство притяжений (зачёркнуто: «убедительно») объясняет толканием (зачёркнуто: «каким-либо телом»), почему вообще всякое притяжение становится подозрительным».

«Положение 3.

§ 41. Тела приводятся в движение одним только толканием».

Из двух доказательств этого положения особенно замечательно второе, в котором Ломоносов разбирает случай, когда покоящееся тело *B* вследствие тяготения приводит в движение тело *A*: «Тело *B* даёт движение телу *A*, но так как *B* находится в покое, то, значит, даёт то, чего само не имеет. Так как это нелепо, то не может быть, чтобы тела могли побуждаться к движению чистым притяжением; следовательно, тела побуждаются к движению одним толканием, что и требовалось доказать».

Этот первый пример использования Ломоносовым закона сохранения движения для обоснования определённых научных выводов. Тяготение кажется Ломоносову несовместимым с законом сохранения движения. Правда, последний ещё не высказан Ломоносовым в явной форме, но несомненно, что Ломоносов уже считает его очевидным научным принципом. К этому Ломоносов даёт пояснение (§ 44): «Здесь мы не оспариваем мнений мужей, имеющих большие заслуги в науках, которые принимают кажущуюся силу притяжения как явление, объясняющее другие явления; в этом им можно уступить по тому же основанию, по какому астрономы предполагают суточное движение вокруг Земли для определения их куль-

¹ К. Маркс, Ф. Энгельс, Избранные письма, Госполитиздат, 1947, стр. 283.

минаций, восхождений и т. д. Знаменитый Ньютон, установивший законы притяжения, вовсе не предполагал чистого притяжения. «Я приступаю, — говорит он, — к изложению движения тел, взаимно притягивающихся, рассматривая центростремительные силы как притяжения, хотя, может быть, если говорить с точки зрения физики, правильнее было бы назвать их толканиями». И в другом месте «Я пользуюсь здесь вообще словом притяжение для какого бы то ни было стремления тел взаимно сблизиться, происходит ли это стремление вследствие действия тел, взаимно притягивающихся, или от действия эфира или воздуха» — и т. д.

Здесь Ломоносов намеревался прибавить «присовокупление 3» и на полях записал: «Притяжение есть то же, что воля бога, так что магнит притягивает железо потому, что так хочет бог, или потому, что притягивает». Вот этого-то «подозрительного», «божественного» притяжения Ломоносов не признаёт и ведёт с ним непримиримую борьбу. Его задача — объяснить мир естественными причинами, не прибегая к сверхъестественным божественным первичным толчкам и далекодействующим притяжениям. Первая фраза пояснения заставляет вспомнить о 16-й заметке, касающейся «людей, имеющих заслуги перед республикой науки». Становится весьма вероятным, что Ломоносов при написании этой заметки имел в виду Ньютона. Чрезвычайно существенно, что Ломоносов подчёркивает высказывания Ньютона о формальном характере притягательных сил. Впоследствии он с поразительной точностью отделяет воззрения самого Ньютона от ньютонианства: «Одну непосредственную причину утверждает и сам Невтон, который притягательной силы не принимал в жизни, по смерти учинился невольный её предстатель излишним последователю своих радением».

Воззрения самого Ломоносова выражены в этой работе с предельной ясностью. Тела состоят из нечувствительных физических частиц, протяжённых, инертных, несопроницаемых. Протяжением, инерцией, формой и движением этих частиц определяются «частные» качества тел, к которым Ломоносов относит теплоту и холод, сцепление частей, удельный вес, цвет, запах, вкус, упругость и специфические свойства, какова сила электрическая, магнитная, лечебная и т. п. По программе Ломоносова, частные качества, т. е. физические и химические свойства, тел «могут быть объяснены законом механики». Выполняя эту программу, Ломоносов в последней главе своей незавершенной работы даёт свою знаменитую кинетическую теорию тепла. В ней содержатся все основные мысли, развитые им в дальнейшем в «Размышлении о причинах теплоты и стужи». По замысел Ломоносова идёт дальше: «нечувствительные тела» должны объяснить и цвет, и электрические и магнитные действия, и химические сцепления, и, наконец, самое тяготение. Проблемой тяготения Ломоносов начинает заниматься в «Заметках о тяжести тел».

«Заметки» первоначально открывались определениями в духе Ньютона: «Тяжесть есть движение или стремление тел к центру земли», «Тяжесть тел пропорциональна их силе инерции», но потом Ломоносов всё это зачеркнул, оставив только опытный факт ускоренного движения падающих тел. Это непрерывное ускорение является, так сказать, непрерывным побуждением к новому движению, а отсюда положение: «Так как никакое движение не может быть возбуждено в теле иначе, как если его толкает другое движущееся тело, то, следовательно, тяжёлые тела, испытывая ускорение движения, получают приращение нового движения от какого-то толкающего их тела, которое само постоянно находится в движении».

С концепцией далекодействующего тяготения Ломоносов решительно порывает. Замечательна мысль, отмеченная им самим значком *NB*: «Тяжесть покоящегося тела есть не что иное, как задержанное движение».

Одного этого замечания достаточно, чтобы поставить имя Ломоносова в начале ряда учёных, занимающихся вопросом о кинетическом истолковании потенциальной энергии. А Ломоносов не ограничивается этим замечанием, он поясняет: «Тяжесть есть движение, следовательно, она есть частное качество». Вспомнив, что выше говорилось о частных качествах, мы раскрываем всю глубину ломоносовского замысла: теплота — движение, свет — движение, электричество — движение, магнетизм — движение, тяготение — тоже движение. Но движение, как неоднократно об этом говорит сам Ломоносов, не может быть без материи, следовательно, встаёт вопрос о природе такой материи. Тяжесть производится тончайшей жидкостью, которую Ломоносов называет тяготительной материей. Эта тяготительная материя присутствует везде. Так как тяжесть не зависит от формы тела, от его раздробления, т. е. от увеличения поверхности, то тяготительная материя действует не на поверхность тел, а на их нечувствительные частицы, которые, несмотря на свою малость, всё же имеют протяжение.



В работе «О составляющих природные тела нечувствительных физических частицах, в которых заключается достаточное основание частных качеств» Ломоносов в § 5 пишет:

«I. Ни одно тело не может быть естественным образом приведено в движение, если его не толкает другое тело».

«II. Ни одно тело не может привести в движение другое, если само оно предварительно не будет приведено в движение».

«III. Если движущееся тело каким-либо образом соединено с движущим, то оба двигаются в одном и том же направлении».

«IV. Тела, приведённые в движение одной и той же силой, имеют количество движения, пропорциональное инерции или количеству материи».

В этом месте на полях Ломоносов написал и зачеркнул: «Здесь должно опровергнуть притяжение. Чистого притяжения нет».

О причинах движения и о первоначальном и производном движении.

Надо различать между первоначальным движением, естественным и вызванным божественной силой.

Отрицание способности притяжения. Ньютон рассматривал её как явление, так же как астрономы для объяснения явлений предполагают, что все светила имеют суточное движение. Движение живое и мёртвое».

Несомненно, что Ломоносов зачеркнул эти замечательные мысли не потому, что он от них отказался: он повторяет их в других местах и, в частности, позднее рассмотрит вопрос о первоначальном и производном движении. Естественное движение, о котором говорит Ломоносов, несуществующим. Закон сохранения движения, несомненно, уже выношен Ломоносовым, и в окончательной редакции «Размышления о причине теплоты и стужи» он им широко пользуется.

Ломоносов, ссылаясь на обычные способы получения теплоты, на влияние теплоты в химических и биологических процессах, приходит к выводу: «необходимо, чтобы достаточное основание теплоты заключалось в движении какой-то материи». Он различает два вида материи — материю, связанную с телом, т. е. собственно материю тела, и материю, проникающую в поры первой. Ломоносов считает, что «достаточная причина теплоты заключается во внутреннем движении связанной материи».

В связи с этим нелишне отметить один из многих моментов, характеризующих преодоление Ломоносовым воззрений своего учителя Вольфа. Как известно, Вольф был, вслед за Гассенди, творцом учения о теплотвор-

ной материи. В своей первой студенческой работе «О превращении твёрдого тела в жидкое, зависящем от движения имеющейся налицо жидкости» Ломоносов частично разделяет точку зрения учителя, считая, что процесс плавления обусловлен наличием в порах тела движущейся огненной жидкости. Теперь Ломоносов утверждает со всей определённости, «что элементарной огнь Аристотельской, или по новых учёных штилю, теплотворная особливая материя... есть только один вымысел...».

Теплота — это движение нечувствительных частиц. Движение это должно быть таким, что оно не нарушает сцепления частиц тел, а по Ломоносову частицы могут сцепляться друг с другом *только при контакте*. Поэтому Ломоносов и считает, что «причина теплоты состоит во внутреннем вращательном движении связанной материи». Частички горячих тел должны вращаться скорее, более холодных — медленнее. Теплопроводность тел объясняется ускорением или замедлением частичек соприкасающихся тел, имеющих разную температуру.

Это вращательное движение частиц и является причиной отталкивательной силы тепла, ибо каждая вращающаяся частица «отталкивает другую тем сильнее, чем энергичнее вращательное движение». Поэтому жидкое и газообразное состояние тел объясняется именно наличием такого вращательного движения, и любая жидкость или газ, сколь бы холодными они ни казались, всегда имеют некоторую степень тепла. Теперь уже изменение агрегатного состояния тел не нуждается в особой материи: «Из системы коловратного теплотворного движения явствует, что тёплых тел частицы скорее вертятся и большею силою одна другую от себя отбивают... для того союзу оных частиц тем больше должно умалиться, чем больше в себе тело теплоты или жару имеет, и так до того разожжено быть может, что не токмо в жидкое претворяется, но и... в пар распущается». Вполне естественными являются два вывода Ломоносова: первый это тот, что «должна существовать наибольшая степень холода, состоящая в полном покое частичек, в полном отсутствии вращательного движения их». Другой вывод тот, что тело не может передать соприкасающемуся с ним телу температуру выше той, которую само имеет. Здесь мы опять-таки имеем дело с применением Ломоносовым закона сохранения энергии: частички не могут сообщить кинетической энергии больше, чем сами обладают. При абсолютном нуле тела не могут находиться в жидком или газообразном состоянии; поэтому земные тела, окружённые со всех сторон атмосферой, не могут иметь температуры абсолютного нуля. Лучистая теплота, по Ломоносову, заключается во вращательном движении частиц эфира...

Как это ни странно кажется на первый взгляд, труднее всего для Ломоносова оказалось объяснение расширения твёрдых тел. Очевидно, сильная способность сцепления частиц твёрдого тела остановила его в применении к этим телам теории отталкивания вращающихся частиц, столь успешно им развитой в истолковании упругой силы воздуха. Тепловое расширение тел он и объяснил повышением упругости воздуха, заключённого в их порах. Этой упругостью он объяснил и расширение воды при замерзании: воздух, освобождающийся при замерзании частичек воды, производит всестороннее давление.

Несмотря на несостоятельность такой концепции, самая теория упругости воздуха принадлежит к числу наиболее блестящих достижений Ломоносова.

Ломоносов решительно отвергает гипотезу, что упругость является индивидуальным свойством воздушных частичек. Частички воздуха просты, не имеют сложного строения, которое позволило бы им приписать упругость. Они являются атомами. Эти атомы имеют круглую шерохо-

вату форму. Ломоносов отвергает далее мысль, что упругость воздуха обусловлена наличием в его порах тонкой упругой материи, эта гипотеза только отодвигает решение вопроса. Упругость воздуха «происходит от какого-то непосредственного взаимодействия атомов». Но это взаимодействие атомов требует их соприкосновения. С другой стороны, большая сжимаемость воздуха, который может быть сжат более чем до $\frac{1}{30}$ своего первоначального объёма, требует наличия больших промежутков между частицами. Эти противоречия Ломоносов устранил, введя представления о временном контакте частиц. Частица, находившаяся в данный момент времени в контакте с другой частицей, в следующий момент оттолкнётся от неё и соприкасается с новой частицей: «Очевидно, что отдельные атомы воздуха, взаимно приблизившись, сталкиваются с ближайшими в нечувствительные моменты времени, и когда одни находятся в соприкосновении, вторые атомы друг от друга отпрыгнули, ударились в более близкие к ним и снова отскочили; таким образом, непрерывно отталкиваемые друг от друга частыми взаимными толчками, они стремятся рассеяться друг от друга».

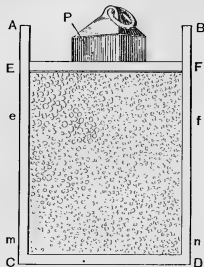


Рис. 167. К выводу Бернулли.

Идея Ломоносова о мгновенном взаимодействии соприкасающихся атомов составляет основную идею современной кинетической теории газов. Без этой идеи невозможно было бы вывести уравнение состояния идеального газа. Когда, говоря о модели идеального газа, подчёркивают, что это совокупность невзаимодействующих материальных точек, то, конечно, поступают неправильно. Модель идеального газа — это совокупность бесструктурных объектов, взаимодействующих в момент контакта по законам упругого удара. А именно

так и мыслил Ломоносов. Единственное отличие его воззрений от современных — это механизм взаимодействия. Далее Ломоносов, исходя из эмпирически установленной связи между упругостью и плотностью, приходит к выводу, что «взаимодействие атомов обусловлено только теплотою».

Таким образом, Ломоносов впервые в истории теоретической физики связывает по существу механику с термодинамикой (хотя последняя, конечно, ещё не существовала). Делает это он с помощью чрезвычайно интересной модели: вращающиеся атомы — волчки при взаимном соприкосновении, вследствие шероховатости их поверхностей, взаимодействуют так, что отталкиваются друг от друга. Чем больше их вращательные моменты (а они по Ломоносову обусловлены интенсивностью теплового движения), тем сильнее отталкивание (т. е. упругость). Эти представления позволяют ему обосновать и изменение плотности воздуха с высотой и конечную скорость распространения звуковых колебаний в воздухе.

В «Прибавлениях» к своей теории Ломоносов останавливается на вопросе, почему он не дал объяснения закона Бойля. Дело в том, что у него имелись сомнения в полной применимости этого закона. «Плотности воздуха при очень больших сжатиях не пропорциональны упругости его». Надо заметить, что в то время не имелось эмпирических данных об отступлении от закона Бойля, они появились позже. Ломоносов исходил из фактов совершенно другого характера: большая упругость пороховых газов, расширение замёрзшей воды. Эти факты послужили ему поводом для теоретического истолкования отступлений от закона Бойля. Закон

Бойля, по Ломоносову, получается следующим образом. Если A и B — две равные массы воздуха и пространства колебаний между частицами масс A и B относятся, как $a : (a-b)$, то объёмы A и B относятся, как $a^3 : (a-b)^3$. Частота столкновений атомов будет обратно пропорциональна этим объёмам, т. е. частоты столкновений относятся, как $(a-b)^3 : a^3$. Но эти частоты определяют упругость воздуха, поэтому упругости будут относиться, как $(a-b)^3 : a^3$, т. е. обратно пропорциональны объёмам или пропорциональны плотностям. Однако при больших сдвиганиях отношение диаметров корпускул к пространствам колебаний играет всё большую роль. Это приведёт к тому, что «отношение упругостей воздуха должно отличаться от отношений плотностей при наибольшем его сжатии».

В этом «Прибавлении» Ломоносов ссылается на Бернулли и, вероятно, считал излишним вывод закона Бойля не только потому, что сомневался в его универсальной применимости, но и потому, что такой расчёт был уже произведен Бернулли. Познакомимся с выводом Бернулли. Пусть груз P уравнивает упругость воздуха, заключённого в цилиндре $ECDf$ (рис. 167); требуется найти груз π , необходимый для сжатия воздуха до объёма $eCDf$. Пусть $EC = 1$, $eC = s$. Увеличение упругости вследствие сжатия происходит от двух причин: от увеличения плотности частиц и от увеличения частоты ударов.

Если считать объём кубом, то в первом положении упругость равна P , объём равен 1, число частиц, приходящееся на единицу поверхности, n , среднее расстояние между центрами частиц D , между их поверхностями $D-d$, где d — диаметр частиц. В положение $eCDf$ упругость равна π , объём s , число частиц на единицу поверхности $n : s^{2/3}$, среднее расстояние между центрами частиц $D\sqrt[3]{s}$ и расстояние между поверхностями $D\sqrt[3]{s} - d$.

Поэтому

$$P/\pi = \frac{s^{2/3}}{1} \cdot \frac{D\sqrt[3]{s}-d}{D-d}.$$

С другой стороны, если положение mC является положением, при котором частицы сдвинуты до взаимного касания и объём их равен m , то $D:d = 1:\sqrt[3]{m}$.

Поэтому

$$P/\pi = \frac{s^{2/3}}{1} \cdot \frac{\sqrt[3]{s}-\sqrt[3]{m}}{1-\sqrt[3]{m}}; \quad \pi = P \frac{1-\sqrt[3]{m}}{s-\sqrt[3]{ms^2}}.$$

Если собственный объём частиц $m = 0$, то $\pi = P \frac{1}{s}$, т. е. получаем закон Бойля. Вопрос об отступлениях от закона Бойля решается измерением числа m . Далее Бернулли устанавливает, что упругость воздуха увеличивается с теплотой. Это происходит потому, что с увеличением теплоты повышается внутреннее движение частиц. При скорости частиц v сила груза, уравнивающая упругость воздуха в положении EF , равна $v^2 P$, а в положении fe $\frac{1-\sqrt[3]{m}}{s-\sqrt[3]{ms^2}} v^2 P$ или приближённо $\frac{v^2 P}{s}$.

Таковы замечательные результаты Д. Бернулли, изложенные в его «Гидродинамике». Если вспомним, что Ньютон обосновывал закон Бойля, исходя из гипотезы междумолекулярных отталкивательных сил, действующих обратно пропорционально расстоянию, то ясно, что у Ломоносова были предшественники. Но Ньютон не вводил представления о движениях частиц, его вывод был статическим. Бернулли же исходит из кинетики частиц, совершенно не касаясь вопроса о её обосновании и, в частности, совершенно игнорируя отталкивание частиц.

Механизм молекулярного взаимодействия и детальное физическое обоснование кинетики газов принадлежит Ломоносову, и только Ломоносову. В этом отношении он дальше и глубже развивает идеи Ньютона и Бернулли, синтезирует их и даёт им физическое обоснование. Поэтому Ломоносов по праву считается основоположником кинетической теории газов.

После работ, посвящённых теории тепла и кинетике газов, Ломоносов вновь возвращается к проблеме тяготения. Проблему тяжести и её отношения к массе Ломоносов выдвигает в знаменитом письме к Л. Эйлеру от 5 июля 1748 г., в диссертации «Об отношении количества материи и веса», представленной в Академию наук 30 января 1758 г., в «Рассуждении о твёрдости и жидкости тел», читанном 6 сентября 1760 г. Этой же проблеме посвящён ряд заметок Ломоносова, опыты с изобретёнными им маятниками и со знаменитым универсальным барометром.

Основные положения высказаны Ломоносовым в письме к Эйлеру. Сообщая Эйлеру о своей теории упругости воздуха, Ломоносов пишет, что начало теории упругости воздуха «я положил ещё тогда, когда начал серьёзно размышлять о мельчайших составных частях вещей; я вижу, что она и теперь совершенно согласуется с остальными моими представлениями, которые я себе составил о частных качествах тел и о химических операциях». «Хотя всё это, — прибавляет Ломоносов, — и даже всю систему корпускулярной философии мог бы я опубликовать, однако боюсь, как бы не показалось, что я даю учёному миру незрелый плод скороспелого ума, если я выскажу много нового, что по большей части противоположно взглядам, принятым великими мужами».

Когда Ломоносов говорит о «великих мужах», то можно почти не сомневаться, что речь идёт в первую очередь о Ньюtone. В самом деле, Ломоносов сейчас же говорит о положении Ньютона, что «масса познаётся по весу каждого тела». Это положение и оспаривает Ломоносов. Комментируя этот спор Ломоносова, историки физики много раз осуждали его за пренебрежение экспериментальным доказательством пропорциональности массы и веса (опыт Ньютона с маятником), спорили о том, можно ли считать Ломоносова предшественником Лессажа, выписывали ряд авторов, высказывавших в той или иной форме кинетическую концепцию тяготения, но не обращали внимания на существо вопроса. А существо вопроса заключалось в том, что Ломоносов считал признание чистого притяжения, действующего через пустоту, несовместимым с законом сохранения материи и движения. Не случайно, что этот «всеобщий», по его собственному выражению, закон он формулирует и в письме к Эйлеру, и в диссертации «Об отношении количества материи и веса», и в «Рассуждении о твёрдости и жидкости тел». Только здесь формулирует Ломоносов свой знаменитый закон — и всякий раз по одному и тому же поводу: для доказательства, что существование чистого притяжения противоречит закону сохранения движения.

Что в этом суть дела, видно из опубликованных впервые во втором томе трудов Ломоносова «Заметок о тяжести тел и об извечности первичного движения». Основное положение, выдвигаемое Ломоносовым, гласит: «Тяжесть тел не зависит от какой-либо притягательной силы, но от тяготительной материи». Доказательство этого положения заключается чрезвычайно характерной мыслью: «...приписывать это физическое свойство тел божественной воле или какой-либо чудодейственной силе мы не можем, не кощунствуя против бога и природы; необходимо признать, что существует некая материя, своим движением толкающая тяготеющие тела к центру земли».

В этих заметках Ломоносов даёт определение первичного и производного движений, которые встречаются впервые в его программных заметках

(заметка 129). Вот эти определения: «Первичное движение — это такое, которое в себе самом имеет своё основание, т. е. не зависит от другого движения». «Производное движение — это такое, которое зависит от другого движения». И здесь Ломоносов выдвигает второе основное положение: «Первичное движение не может иметь начала, но должно существовать извечно». Если бы первичное движение имело начало, то «было нечто внешнее, что его двигало». Этого внешнего, т. е. нематериального, божественного, Ломоносов не может признать и допускает противоположное, «что первичное движение никогда не может иметь начала, но должно длиться извечно». Не удивительно, что клерикалы, подняв вой против Ломоносова, кричали, что Ломоносов зазнаётся и ставит себя выше признавших гоним. Но Ломоносов действительно был выше, ибо он не признавал создания и уничтожения материи и движения и пошёл дальше всех своих предшественников и современников по пути объяснения мира из него самого.

«...Мы признаём, — пишет Ломоносов Эйлеру, — видимый мир полным материи». Это и собственная материя тел, «связанная», по терминологии Ломоносова, и «эфир», и «тяготительная» материя. В своём определении массы (кстати сказать, далеко не ясном) Ньютон при учёте плотности тела учитывает только атомистическую материю, не приписывая во внимание эфира. С этим не может согласиться Ломоносов, поэтому он принимает пропорциональность массы и веса только для однородных тел. В материальном мире могут быть невесомые материи, т. е. находящиеся в состоянии равновесия с тяготительной материей, в то время как масса этих невесомых материй отлична от нуля. Будучи обусловлено действием тяготительной материи, притяжение (его центр, его величина) должно быть по существу переменным.

Ломоносов понимает, что речь идёт об очень тонких эффектах, и конструирует такой замечательный прибор для наблюдения вариаций тяжести, как универсальный барометр. С этим прибором, с изобретёнными им «пендулами» (маятниками), барометрическим шаром Ломоносов работает до конца своей жизни. 18 августа 1763 г. он сообщает в академию: «Академикам неизвестно, что я в течение свыше четырёх лет сделал очень много центрических наблюдений при помощи центроскопического маятника и универсального барометра, позволяющих объяснить многие и особливые явления природы с полнейшей очевидностью. Я имею уже готовую, составленную на основании этого материала диссертацию о возмущениях тяжести, которую готов предложить на ближайшем публичном академическом собрании». Сообщая 2 октября 1763 г. о своём намерении прочитать речь «О перемещениях тяжести на земном глобусе», Ломоносов просит подготовить печатание рисунков, однако чтение начала диссертации состоялось только 27 августа 1764 г. и продолжено не было, по всей вероятности, из-за болезни Ломоносова.

Переходим к воззрениям Ломоносова на природу электрических и оптических явлений. Ломоносов исходит из следующего основного свойства электрических сил: притягивательное и отталкивательное действие, а также свет и огонь наблюдаются за пределами наэлектризованных тел. «Электрические явления: притяжение, отталкивание, свет и огонь состоят в движении. Движение не может быть возбуждено без другого двигающегося тела.

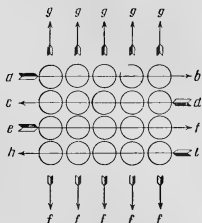


Рис. 168. К теории эфира Ломоносова.

Тела, значительно удалённые от наэлектризованных тел, не подвержены их действию. Поэтому должна существовать нечувствительная жидкая материя, разливающаяся вне электризованного тела и производящая такого рода действие, изменяющаяся под влиянием электричества».

«Так как эти явления имеют место в пространстве, лишённом воздуха, а свет и огонь происходят в пустоте и зависят от эфира, то кажется правдоподобным, что эта электрическая материя тождественна с эфиром».

«Чтобы это выяснить, необходимо изучить природу эфира; если она вполне пригодна для объяснения электрических явлений, то будет достаточно большая вероятность, что они происходят от движения эфира. Наконец, если не найдётся никакой другой материи, то достовернейшая причина электричества будет движущийся эфир».

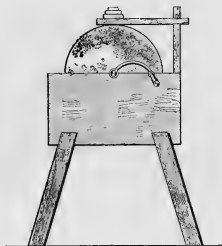


Рис. 169. Прибор Ломоносова для испытания твёрдости.

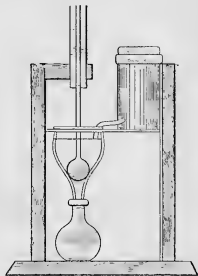


Рис. 170. Прибор Ломоносова для испытания вязкости.

Таким образом, в противоположность современной ему тенденции дробить физическую картину мира, вводя огромное количество «нечувствительных материй», Ломоносов стремится к созданию единой картины и наряду с обычной атомической материей тел вводит движущийся эфир. Вполне понятно, что Ломоносов, изгоняя теплотворную материя, а затем и электрическую, не делает исключения для светоносной материи. В «Слове о происхождении света» он подвергает обстоятельной критике теорию истечения света. Эту теорию Ломоносов считает несовместимой с фактами преломления света и его конечной скорости. Теория истечения не совместима с принципом суперпозиции световых потоков. Перекрещивающиеся световые лучи должны отклонять друг друга, что не совместимо с законами оптики.

«Сквозь все алмаза скважины, поставленного между многими тысячами свеч горящих, сколь многим должно быть ветренным и поперечным течением материи света, по песчёрным углов паклонениям; но при том нет препятствия и ниже малейшего в лучах замешательства; где сираведливые логические заключения? Где неспарушимые движения законы?»

Теория истечения приводит к трудности согласования необычайной твёрдости алмаза с его прозрачностью. Далее, если вообразить песчинку, освещаемую лучами солнца, то в неё вливается количество световой материи, заключающееся в объёме конуса с основанием, равным окружности солнца, и вершиной в песчинке. «В двенадцать часов перейдёт от него (солнца) к оной песчинке эфирной материи осмь тысяч шестьсот сорок

миллионов кубических земных полудиаметров. Взяв с солнечного сияния песчинку, положим в малую, тёмную и холодную камеру: тотчас приобретенная от солнца теплота исчезнет: света ни малейшего не окажется. Сей опыт хотя бы кто повторил целый год, или век свой в том упражнении, всегда чёрная его песчинка останется чёрной, и в темноте не подаст ни малого света. Чёрные материи приходящих к себе лучей ни назад не отворачивают, ни сквозь себя не пропускают. Скажите мне любители и защитники мнения о текущем движении материи, свет производящая, куда она в сем случае скрывается?»

И Ломоносов останавливается на волновой теории света. Свет — это движение в эфире. Однако это уже не вращательное движение частиц, ибо последнее производит теплоту, а *колебательное*. Следовательно, Ломоносов не просто разделяет точку зрения Гюйгенса, а развивает её дальше, у Гюйгенса свет — распространение аperiодического импульса в эфире, у Ломоносова — распространение колебательного движения.

Ломоносов приложил чрезвычайно много усилий для истолкования цветов тел. Он не мог согласиться с мнением, что цвет тела есть некая модификация светового потока на поверхности тел. Цвет — это частичное качество тела и как таковое должно находить своё объяснение в его корпускулярной структуре. Развивая идеи Декарта и Мариотта, Ломоносов считает эфир состоящим из трёх видов частиц (три элемента материи Декарта) — более грубых, средних и наиболее тонких. Далее он вводит принцип «согласования» или совмещения частиц, основываясь на механической аналогии зубчатых передач: одинаковые шестерни вращаются с одинаковой скоростью: «называю сцепляющиеся согласно друг с другом частицы совместными, не сцепляющиеся и не движущиеся согласно несовместными». Три ряда эфирных частиц — три класса совместных частиц. Частицы одного рода совместны, разнородные несовместны. Частицы первого рода производят красный цвет, второго — жёлтый, третьего — голубой. Далее Ломоносов опирается на современные ему химические воззрения о составлении всех веществ из первичных материй: соляной, ртутной, серной, а также чистых воды и земли.

Частицы соляной материи совместны с частицами эфира первого рода, ртутной — с частицами второго рода, серной — третьего рода. Чистая вода и земля несовместны ни с одной эфирной частицей. Поэтому, когда колебательное движение в эфире распространится до частиц, прилегающих к поверхности тела, то совместные частицы эфира будут тормозиться совместными частицами материи тела, приводя их в «коловратное» движение. Если на поверхности тела расположены частицы всех сортов, тогда все эфирные частицы через совмещение теряют свое движение и не имеют возможности возбуждать коловратное движение в частицах, лежащих на дне глаза. Поэтому такое тело кажется чёрным. Напротив, если поверхность тела состоит из частиц чистой воды или земли (металлическая), то эфирные частицы не теряют своего движения. В таком случае эфир «трясущимся движением на дно ока действует, производит всех цветов в зрении чувство; и такого рода смешанные тела имеют цвет белой». Если же на поверхности расположены, например, частицы соляной или кислой материи, то они поглощают движение частиц, вызывающих ощущение красного цвета, и глаз будет видеть поверхность тела зелёной.

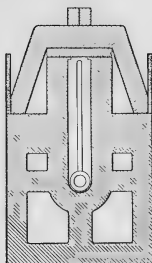


Рис. 171. Напинов котел конструкции Ломоносова.

Теория цветов Ломоносова подвергалась осуждению как у современников, так и в последующие годы. После победы волновой теории света удивлялись проницательности Ломоносова, взявшего её под защиту в эпоху торжества корпускулярной теории света, но одновременно с сожалением отмечали фантастический характер его теории цветов. Между тем нельзя не признать, что Ломоносов с величайшим искусством использовал арсенал картезианской физики для своей теории, а вся его богатая химическая практика несомненно утвердила его в мнении сложения всех цветов из трёх основных.

Современная цветная фотография, техника цветного кино, как известно, используют тот же принцип смешения трёх основных цветов. Что же касается основной идеи Ломоносова о сведении электрических, световых, тепловых явлений и, возможно, тяготения к движению в эфире, то в этом отношении он опередил свой век и является прямым предшественником Фарадея.

Петербургские
академики —
современники
Ломоносова.

Одновременно с Ломоносовым, а также до и после него в Петербургской академии наук работал ряд выдающихся учёных, внёсших существенный вклад в развитие естествознания и способствовавших укреплению славы академии как крупного научного центра. Мы уже упоминали о таких академиках, как Д. Бернулли, Л. Эйлер, Г. В. Рихман, и освещали в своём месте значение их трудов в истории физики XVIII в.

Современниками Ломоносова, работавшими вместе с ним в Академии наук, были, кроме Рихмана, астрономы Г р и ш о в Августин Нафанаил (1726—1760), П о п о в Никита Иванович (1720—1782), физики Б р а у н Иосиф Адам (1712—1768), Э п и н у с Франц Ульрих Теодор (1724—1802). Наиболее значительный вклад в науку сделал Эпинус.

Эпинус был приглашён в Петербургскую академию наук в 1757 г. До этого он был членом Берлинской академии наук по кафедре астрономии. В первые же годы пребывания в академии Эпинус развил интенсивную научную деятельность в области изучения электрических и магнитных явлений, в результате которой им было открыто явление электризации турмалина при нагревании (пироэлектричество) в 1758 г., и написал важный трактат «Опыт теории электричества и магнетизма», вышедший в свет в 1759 г. Дискуссия по поводу пироэлектричества и свойств турмалина привела к опубликованию Эпинусом в 1762 г. «Сборника различных мемуаров о турмалине». В 1784 г. Эпинус сконструировал первый в мире ахроматический микроскоп.

Помимо научной работы, которая, как видно из этого краткого перечня, была весьма плодотворной, Эпинус в России выполнял различные придворные и государственные поручения, был директором сухопутного шляхетского кадетского корпуса, воспитателем наследника престола Павла I, причём специальным указом Екатерины II он был освобождён для исполнения обязанностей воспитателя от обязанностей профессора академии, выполнял поручения по Иностранной коллегии, с 1782 г. был членом комиссии по учреждению народных училищ. Составленная им «Записка об организации в России низшего и среднего образования» послужила теоретической основой организации системы народного образования при Екатерине. После восшествия на престол Павла Эпинус был уволен в почётную отставку от всех должностей с сохранением жалованья. Остаток жизни он провёл в Тарту (тогда Юрьеве), где и умер 10 августа 1802 г.

Важнейшим трудом Эпинуса является его «Опыт теории электричества и магнетизма». В этом труде Эпинус развивает унитарную теорию Франклина, прилагая её не только к электрическим, но и магнитным явлениям,

усматривая глубокую аналогию в обеих этих группах явлений. Разработка Эпинусом положений теории Франклина была настолько основательной, что после открытия электронов, которые считались «атомами электричества», В. Томсон написал статью под заглавием «Эпинус атомизированный», подчеркнув тем самым значение Эпинуса в разработке концепции электрической жидкости. Принимая гипотезу о существовании такой жидкости и аналогичной ей магнитной жидкости, частицы которой способны взаимодействовать между собой, Эпинус действует далее по методу Ньютона, исследуя следствия из этой гипотезы и не исследуя ближе причин, порождающих дальнедействующие силы. «Сам величайший Ньютон, — говорит Эпинус, — поступал таким же образом: он показывает, какова зависимость движения небесных тел от всемирного тяготения, но не заботится о том, чтобы выявить, откуда взялось само это всемирное тяготение».

Эпинус однако сознаёт, что такая чисто ньютоновская позиция не будет встречена сочувственно в академии. В Петербурге противником ньютоновства выступил Ломоносов, в Берлине активно боролся против монадологии Лейбница — Вольфа Эйлер, и Эпинус спешит отмежеваться от крайних ньютоновцев и монадистов. «Этот мой способ действия, — продолжает он, — без сомнения, заслужит упрек со стороны тех, которые возмущаются употреблением терминов «притяжение» и «отталкивание» в натуральной философии. Чтобы удовлетворить их, я заявляю, что я вполне убеждён в существовании сил притяжения и отталкивания; однако я отнюдь не считаю их, как поступают некоторые неосторожные последователи великого Ньютона, силами, внутренние присущими телам, и я не одобряю учение, которое постулирует действие на расстояние. Действительно, я считаю несомненной аксиомой предложение, по которому тело не может производить никакого действия там, где его нет; если когда-нибудь будет доказано, что какое-либо притяжение или отталкивание совершенно не зависит от внешнего давления или импульса, то, по моему мнению, мы принуждены будем в таком случае допустить, что движение такого рода руководится или производится духами или существами, которые действуют притом сознательно, однако я не хочу заставить себя поверить, что это имеет место в мире. Итак, мой взгляд сводится к тому, что притяжения и отталкивания, о которых я говорил, я считаю явлениями, причина которых ещё скрыта, однако от них зависит и от них берут начало другие явления. Но я считаю, что тот, кто сводит более сложные явления к их ближайшим причинам и первоначальным силам, делает серьёзный шаг вперёд в исследовании действий природы, хотя бы причина этих причин и не была раскрыта. Я убеждён, что такое разъяснение моих взглядов, которое я здесь предлагаю, удовлетворит даже самого сурового критика».

Это заявление Эпинуса — лучшее свидетельство о той атмосфере, которая была создана в академии вокруг ньютоновства. Перед лицом возможных критиков (можно не сомневаться, что в первую очередь Ломоносова) Эпинус должен был изложить свое «кredo» в отношении *actio in distance*. Отмежевываясь в явной и недвусмысленной форме от ньютоновства, Эпинус перешёл на позицию самого Ньютона, которую он не без основания считал прочной и надёжной.

Основной теоретический объяснения электрических и магнитных тел, которые Эпинус считает родственными друг другу, является гипотеза о существовании особых электрической и магнитной жидкостей:

«Существует некая жидкость, производящая все электрические явления и вследствие этого названная электрическою, тончайшая, весьма эластичная, части которой даже на значительных расстояниях заметно отталкивают друг друга».

«Частицы этой жидкости притягиваются материей, из которой состоят все известные до сих пор тела...» «...Существует жидкость, производящая все магнитные явления, которую поэтому следует назвать магнитной. Эта жидкость чрезвычайно тонка, может проходить через любые поры в телах; её частицы, как и частицы электрической жидкости, отталкивают друг друга».

«Эта жидкость в большей части других тел, обнаруживаемых в мире, не вызывает никакой реакции; она не притягивается и не отталкивается ими».

«Однако же существует определённый ряд тел, части которых притягивают магнитную материю и точно так же ею притягиваются; телом, наделённым таким свойством, является прежде всего железо, а затем все тела, именующиеся железными...»

Обработывая следствия из этих гипотез, Эпинус приходит к выводу, что между частицами материи, кроме сил ньютоновского тяготения, должна действовать сила отталкивания (иначе не получается равновесия между нейтральными телами). Эта сила, по мнению Эпинуса, не наносит ущерба ньютонскому тяготению, ибо в нейтральных телах её действие компенсируется электрическими силами. Вообще же эта сила, как и непрерывное тяготение, носит формальный характер. Несмотря на это объяснение и общую высокую оценку труда Эпинуса такими математиками, как Лаплас и Лежандр, всё же преимущество было отдано дуалистической теории.

Количественного закона для силы электрических и магнитных взаимодействий Эпинус не нашёл, однако он предполагал, что эти силы выражаются одинаковыми функциями расстояния. «Но определить эти функциональные зависимости я пока что не решаюсь. Впрочем, если бы понадобилось произвести выбор между различными функциями, то я охотно утверждал бы, что эти величины изменяются обратно пропорционально квадратам расстояний. Это можно предположить с некоторым правдоподобием, ибо в пользу такой зависимости, помимо аналогии с другими явлениями природы».

Закон квадратов «носится в воздухе». Подобно убыванию тяжести с расстоянием от центра тяготения, освещённости от центра излучения и сила электрического или магнитного отталкивания должна убывать обратно пропорционально квадрату расстояния. Однако прямых доказательств этого Эпинус не нашёл. Он допустил ошибку, считая, что во всех телах электрическая материя распределяется по объёму. Между тем уже Франклин показал, что пробковые шарики не подвергаются действию со стороны электрически заряжённого сосуда, если они находятся внутри его. Комментируя этот опыт, Пристли в своей «Истории электричества» высказал следующую важную мысль: «Нельзя ли заключить из этого опыта, что электрическое притяжение следует только такому же закону, как и тяготение, т. е. квадрату расстояния, поскольку легко доказать, что если бы земля имела форму оболочки, тело, находящееся внутри неё, не притягивалось бы к одной стороне сильнее, чем к другой». Именно таким путём, как будет показано в следующей главе, Кювендин в 1771 г. доказал закон квадратов.

Несмотря на эти пробелы, Эпинусу удалось сделать многое. Он установил факт поляризации в электрическом поле, объяснил индукцию, изготовил первый электрофор, высказал мысль о контактной электризации, о колебательном разряде лейденской банки. Для изучения разряда конденсатора Эпинус изготовил плоский конденсатор со стеклянной пластиной и показал, что чем тоньше стеклянная пластина, тем «при прочих равных условиях возможно накопление электричества больше, чем если она имеет большую толщину». Он показал, что «сила электрического потрясения

(т. е. разряда) зависит главным образом от степени сгущения электрической жидкости». Эпинусу принадлежит идея исследования электрического поля с помощью электрического диполя, который ведёт себя аналогично магнитной стрелке в магнитном поле; он изготовил модель такого диполя в виде лёгкого подвешенного плоского конденсатора. Эпинус впервые экспериментально и математически исследует магнитные силовые линии. Однако картину железных опилок вблизи магнита Эпинус не считает доказательством наличия реального физического процесса вокруг магнита, поскольку она получается из формального закона дальнего действия. «Теперь ясно, — заключает Эпинус свои расчёты кривых линий магнитной силы, — каким образом можно из законов магнитных притяжений и отталкиваний вывести то правильное расположение железных опилок, рассыпаемых вокруг магнита, которому так изумлялись естествоиспытатели, впрочем большая часть их считала (как я полагаю, ошибочно) существование этих линий очевидным доказательством существования настоящего магнитного вихря, т. е. потока магнитной материи, постоянно движущегося от одного из полюсов к другому».

К числу естествоиспытателей, считавших в противоположность Эпинусу «магнитные вихри» реальностью, принадлежал и другой современник Ломоносова — гениальный математик Леонард Эйлер.

16 лет Эйлер сдал магистерский экзамен, прочитав речь о философии Ньютона и Декарта. Знаменитый спор ньютоновцев и картезианцев всю жизнь занимал его. Дружба с молодыми Даниилом и Николаем Бернулли имела решающее значение в выборе жизненного пути для Эйлера, он не сделался богословом, к великому счастью для науки.

Сам Эйлер в своей биографии, продиктованной им сыну, так писал об этом критическом моменте своей жизни: «В 1723 г. я был удостоен степени магистра, после того как я за полгода перед этим по тогдашнему обычаю получил *præmat lauream* (первое отличие). После этого я должен был по желанию моей семьи поступить на теологический факультет, там я кроме богословия должен был особо упражняться в греческом и еврейском языках; в этом однако я не ушел далеко, так как я большую часть своего времени уделял изучению математики, и к моему счастью субботние визиты к г. Иоганну Бернулли все еще продолжались. Около того же времени была учреждена новая Академия в Санкт-Петербурге, куда были приглашены оба старшие сына г. Иоганна Бернулли; меня охватило тогда неопишимо страстное желание уехать вместе с ними в 1725 г. в Петербург. Но это намерение в тот момент не могло быть осуществлено. Приглашенные братья Бернулли дали мне, однако, твердое обещание, что по приезде в Петербург они выхлопочут мне там подходящее место...»

Когда братья Бернулли приехали в Петербург, они сейчас же предприняли шаги и к приглашению Эйлера. Однако выяснилось, что математические и физические кафедры были уже замещены, была свободна кафедра физиологии. Эйлер спешно принимается на изучение медицины и физиологии. В день смерти Екатерины Эйлер прибыл в Петербург. Таким образом он очутился в России в неблагоприятную для академии пору. Академики начали разъезжаться, освободилась сначала кафедра физики, а затем и математики. С 1730 г. Эйлер — академик по кафедре математики. В 1736 г., в год выхода его «Механики», Эйлер потерял глаз в результате трёхдневной напряжённой вычислительной работы.

В 1741 г. Эйлер уехал в Берлин и вернулся в Россию только в 1766 г. Следовательно, он не мог встретиться с Ломоносовым, за исключением, может быть, краткого периода, когда Ломоносов был ещё студентом Академического университета. Их переписка началась, ве-

роятно, в 1746 г., затем прервалась в связи с семилетней войной. Последнее письмо Эйлера Ломоносову заключало просьбу получить компенсацию за ущерб, принесённый ему постоем русских войск, занявших Берлин. Ломоносов просьбу выполнил, Эйлер компенсацию получил.

Несмотря на большие несчастья (пожар, потеря второго глаза после неудачной операции), выпавшие на долю Эйлера в последний период его

жизни, он продолжал напряжённо работать. Умер он внезапно; 17 сентября 1783 г. Эйлер прекратил «вычислять и жить» (Кондорсе).

Продукция Эйлера огромна. Известно 865 различных его работ, большинство которых относится к русскому периоду. Даже в берлинский период Эйлер не порывает связи с Петербургской академией, ведёт непрерывную переписку, посылает в «Комментарии» свои работы, посылает отдельные большие труды. Петербургская школа математиков справедливо считает своим основателем Эйлера.

Физические воззрения Эйлера тесно связаны с его общей натурфилософской концепцией. В отличие от Ломоносова, у которого на первый план выдвигалась атомистика, Эйлер развивал теорию декартовского континуума; однако пояснял, что сущность тел не исчерпывается протяжённостью, она заключается ещё в подвижности

тел, их инертности и непроницаемости. Как мы уже видели, из последних двух свойств Эйлер пытается вывести силы. Подобно Ломоносову и картезианцам, Эйлер решительно выступает против дальнего действия и интерпретирует силу тяготения как результат давления эфира. Эфир вокруг Земли и небесных тел не обладает одинаковым давлением, его давление уменьшается по мере приближения к центру. Причина этого обстоятельства может быть в том, что эфир увлекается вращением тела; скорость вращения уменьшается по мере удаления от поверхности вращающегося тела, и в соответствии с законами гидродинамики (закон Бернулли) давление будет возрастать. Таким образом тело будет испытывать со стороны верхней границы большее давление, чем снизу, и это неравенство создаёт силу, направленную к центру Земли или планеты. При подходящем законе убывания давления эфира можно получить закон обратной пропорциональности квадрату расстояния. Естественно, что Эйлер выступает и противником теории истечения в оптике. Критика ньютоновской теории истечения поразительно совпадает с ломоносовской. Однако эйлеровская теория цветов отличается от ломоносовской, её можно назвать резонансной теорией. Приведём изложение этой теории самим Эйлером в письме Ломоносову от 30 марта 1754 г.

«...я принимаю, что свет в эфире, подобно звуку в воздухе, рождается колебательным движением, и основываю различие цветов на различной скорости колебаний, так что цвета различаются друг от друга так же, как



Леонард Эйлер.

высокие и низкие звуки; при помощи этого даётся достаточно вероятное, как мне кажется, объяснение, почему одни цвета претерпевают большее, другие — меньшее преломление. Затем я отбрасываю пучки, составленные из всякого рода лучей, и на место их ставлю разного рода колебания, возбуждаемые отдельными частичками солнца или другого святающегося тела и распространяющиеся при преломлении по разным направлениям. Далее я никак не могу постигнуть, почему от поверхности, например, красного тела, откуда бы оно не освещалось солнечными лучами, отражаются только красные лучи во все стороны: объяснение этого природного отражения мне всегда казалось весьма неудачным».

«Итак, я не думаю, что мы видим непрозрачные тела при посредстве лучей, отражённых их поверхностью: совершенно другое объяснение мне дало рассмотрение тех звуков, которые издают струны не от удара, но возбуждённые созвучием. Таким же образом, думаю, приводятся в колебание мельчайшие частички непрозрачного тела от лучей света. Я считаю, что эти мельчайшие частички обладают известной степенью упругости, так что они при ударе должны дать начало некоторому числу колебаний, причём сами лучи падающего света производят действие ударяющей силы так же точно, как звук возбуждает струну, натянутую для этого звука. Этим путём отдельные частички непрозрачного тела до тех пор пока освещаются лучами, возбуждаются к определённом колебательному движению; это движение, сообщаемое окружающей эфирной жидкости, будет производить в ней подобное же колебательное движение, а следовательно, и лучи света».

«... Отсюда мы находим истинное определение цвета тел, и тело, например, является красным, если его мельчайшие частички так построены, что от данного возбуждения издают в известное время определённое число колебаний».

Оптика Эйлера принадлежит к числу его замечательнейших достижений. Он впервые написал уравнение луча и рассмотрел вопрос о распространении колебаний вдоль струны. Очень существенно, что Эйлер впервые показал, что обратной волны не получится, если дано распределение скоростей в исходном импульсе. Как известно, отсутствие обратной волны было одним из затруднений при объяснении распространения света по принципу Гюйгенса, окончательно преодолённая только в формулировке Кирхгофа.

Чтобы объяснить отсутствие возмущающего действия эфира на движение планет, Эйлер произвёл расчёт. Если принять, что эфир обладает упругостью, превышающей в 1000 раз упругость воздуха, то его плотность будет в 400 млн. раз меньше плотности воздуха. При такой плотности период обращения Земли вокруг Солнца увеличится на 1 секунду за 2720 лет, а эксцентриситет за то же время уменьшится на $\frac{1}{273}$ дуговой секунды. Ясно, что это возмущение лежит за границами наблюдения.

П И С Ь М А

о разныхъ
ФИЗИЧЕСКИХЪ
и
ФИЛОЗОФИЧЕСКИХЪ
МАТЕРІАХЪ,

писанная
къ нѣкоторой нѣмецкой
ПРИНЦЕССѢ

съ Французскаго языка на Россійскій
переведенная
СТЕПАНОМЪ РУМОВСКИМЪ
Академикомъ Наукъ Членомъ Астрономіи
и Профессоромъ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.

въ САНКТ-ПЕТЕРБУРГѢ
при Императорской Академіи Наукъ
1768 года

Рис. 172. Титул «Писем к немецкой принцессе».

Эйлер понимал важность принципа сохранения движения. В связи с этим интересно его рассуждение о том, откуда берётся энергия огня. Материя огня, по Эйлеру, состоит из маленьких «шаричков». Когда тело воспламеняется, то его частица приходит в быстрое движение. Откуда оно берётся? Эйлер принимает, что внутри «шаричков» содержится скрытое движение, которое в процессе реакции освобождается. Образ этого освобождения напоминает современную картину цепной реакции.

Эфир привлекается Эйлером и для объяснения магнитных и электрических явлений. В железе и магните имеются тонкие каналы, в которые могут проникать тонкие частицы эфира. В магнитных каналах имеются клапаны, направляющие движение эфирных частиц в одном направлении, наподобие клапанов при кровообращении. Вследствие этого вокруг магнитов возникают вихри эфирных истечений, что приводит к возникновению разности давлений и, следовательно, силам взаимодействия. Рисунки Эйлера этих магнитных истечений поразительно напоминают картины фарадеевских линий сил. «Эти фигуры можно прямо ввести в фарадеевское изложение», — писал историк физики Э. Гомпе.

Электрические явления по Эйлеру производятся эфиром, заключённым в порах тела. Пory тел могут быть трёх классов, большие или открытые, малые или замкнутые и средние. Если эфир, заключённый в порах тел, находится в равновесии с окружающим эфиром, то тело нейтрально. Нарушение такого равновесия и есть процесс электризации. Тело, в порах которого эфир имеет упругость большую, чем окружающий эфир, будет наэлектризовано положительно, имеющее меньшую упругость, наэлектризовано отрицательно. При трении двух разнородных тел поры сжимаются, и смотря по тому, у какого тела поры сжимаются сильнее, будет наблюдаться переход эфира от одного тела к другому.

Непроводников по Эйлеровской теории нет, ибо даже тело с замкнутыми порами в конце концов будет находиться в равновесии с окружающим эфиром, т. е. разряжаться.

Как показывают новейшие исследования¹, Эйлер развил также динамическую теорию электрических взаимодействий, используя тот же принцип Бернулли. Эта картина опять-таки поразительно напоминает фарадеевские представления и в известной мере предваряет первую работу Максвелла «О фарадеевских трубках сил». Разрабатывая концепцию близкодействия, Эйлер активно боролся против идеалистической монадологии Лейбница-Вольфа. В этом он находил полную поддержку со стороны Ломоносова. В письме к Эйлеру от 23 февраля 1754 г. Ломоносов писал: «Признаюсь, что я главным образом и оттого всё это и оставил, чтобы, падавая на писания великих мужей, не показаться скорее хвастуном, чем поборником истины. Эта же самая причина мне давно уже препятствует предложить на обсуждение учёному свету мои мысли о монадах. Хотя я твёрдо уверен, что это учение должно быть до основания уничтожено моими доказательствами, но я боюсь опечалить горечью духа старость мужу, благодеяния которого по отношению ко мне я не могу забыть², иначе я не побоялся бы раздражать по всей Германии шершней — монадистов».

Эйлер в своём ответе писал, что «Вымысел монад уже почти всеми отвергнут», однако позднее, в своих «Письмах к принцессе», он вновь уделил большое внимание разбору и критике учения о монадах. Дело в том, что

¹ Мы имеем в виду находящуюся в печати работу Л. С. Минченко, нашедшего неизвестную рукопись Эйлера по электричеству и доказавшего, что работа сына Эйлера по электричеству 1757 г. на самом деле принадлежит отцу.

² Речь идет о Вольфе.

идея действия на расстояние получила с того времени (1754) новое развитие. В 1759 г. появился известный трактат Босковича «*Philosophiae naturalis theoria*». Это сочинение учёного иезуита несомненно является крупной вехой в истории атомистики. Боскович желает обосновать и механику и оптику Ньютона. Он рассматривает материю как совокупность силовых центров, математических точек. Сила является весьма сложной функцией от расстояния, на больших расстояниях от центра она совпадает с ньютоновским тяготением, при приближении к центру происходит чередование переходов притягательных сил в отталкивательные, и наоборот. Это даёт возможность Босковичу построить модель упругого тела, истолковать ньютоновские «приступы» световых частиц и т. д. Идеи Босковича оказали большое влияние на развитие учения о взаимодействии и, повидимому, на самого Фарадея, который в своём оригинальном и самобытном мировоззрении славял самые разносторонние взгляды и течения, подчиняя их одной цели: раскрыть единство сил природы. В этом неустанном стремлении он опирался и на воззрения Эйлера, и на Ньютона, и на современных ему натурфилософов. Он инстинктивно чувствовал, что природа сложнее и разностороннее любых представлений о ней, оставаясь единой в своей материальной сущности.

Из сделанного обзора видно, как далеко развилась физика и физическая концепция в XVIII в.

Нельзя не отметить при этом одного существенного обстоятельства. В течение почти полувека Петербург занимал ведущее положение в научном прогрессе. Такие фундаментальные вещи, как механика Эйлера, калориметрия Рихмана и Ломоносова, теория электричества Ломоносова — Эйлера и противоположная им теория Эпинуса, атомистика Ломоносова вышли из Петербурга. После Французской революции центр научного прогресса переместился в Париж.

ОТ ЛОМОНОСОВА ДО ФАРАДЕЯ

(1780 – 1830 гг.)

Вступительные
замечания.

Дореволюционная Франция деятельностью своих знаменитых просветителей и философов-материалистов обесспечила себе выдающееся положение в интеллектуальной жизни Европы. Политические идеи Монтескьё, социальные теории Руссо, философия Вольтера, воззрения Дидро и других материалистов волновали тогдашнее общество. Носившие первоначально отпечаток своего аристократического происхождения, эти воззрения стали модными в светских кругах, о них рассуждали в салонах французских придворных, им «покровительствовали» Екатерина и Фридрих. Смелая и острая критика религиозных и политических традиций, обличение социальных несправедливостей, талантливая и яркая пропаганда достижений естествознания вскоре привели к тому, что «в той или иной форме, — как открытый материализм или как деизм, — материализм стал мировоззрением всей образованной молодёжи во Франции»¹, а в дальнейшем дал теоретическое знамя деятелям французской революции.

Опираясь на последние достижения естествознания, лидеры нового мировоззрения стремились познать и перестроить общество на тех же естественных началах. Не понимая специфических законов общественного развития, они мечтали об обществе, как о царстве Разума, оказавшемся на деле ни чем иным, как царством буржуазии, в котором священным «естественным» правом человека объявлялась собственность.

В свете передовых идей особенно ярко бросалась в глаза экономическая и политическая отсталость предреволюционной Франции. Англо-французский торговый договор 1786 г. продемонстрировал преобладание прошедшей через политическую революцию и начавшей техническую революцию Англии. Промышленность, сельское хозяйство, финансы дореволюционной Франции находились в тяжёлом состоянии, перешедшем в крупный хозяйственный кризис. Нищета и закабаление крестьян, беспорядок ремесленников и торгово-промышленной буржуазии резко дисгармонизировали с роскошью Версаля и дворянского Парижа.

Образование во Франции находилось на чрезвычайно низком уровне. Высшее образование было сосредоточено в 22 университетах, в которых господствовала схоластика и церковь. По выражению Био, эти университеты «отстали во всём, что касается науки и техники, на несколько столетий».

¹ Энгельс, Развитие социализма от утопии к науке, Госполитиздат, 1951, стр. 21.

тий. Перипатетические в то время, когда учёный мир вместе с Декартом отказывается от философии Аристотеля, они делаются картезианскими, когда все становятся ньютоновцами».

Что касается специального образования, то его состояние было не менее плачевным. Наиболее выдающаяся Мезьерская школа военных инженеров, в которой учился знаменитый Монж, принимала воспитанников только благородного происхождения и выпускала ежегодно десять военных инженеров. Вероятно, уровень технических знаний этих инженеров-дворян был невысок, и для того чтобы обеспечить потребность в техниках военно-инженерного дела, в школу принимали и лиц неблагородного происхождения на дополнительное отделение. Однако эти учащиеся никогда не могли получить офицерский чин. Общих курсов воспитанникам не читалось, учащиеся основного отделения занимались с репетиторами. В артиллерийской школе в Шалоне не было ни физического кабинета, ни химической лаборатории, ни библиотеки. Уровень знаний оканчивающих школу был очень низок. Ещё хуже была Парижская школа путей сообщения, в которой даже не было официальных профессоров.

Следует ещё упомянуть о школах, принадлежащих монашеским орденам и орденам иезуитов, находившихся в значительно лучших условиях, чем светские. Лаплас вышел из школы ордена бенедиктинцев в Бомоне. Фурье учился в военной (!) школе, управляемой бенедиктинцами конгрегации Сен-Мора.

Таково было состояние образования королевской Франции. Что же касается наук, то и здесь положение нельзя было назвать благополучным.

Как мы знаем, так называемые «академии», к числу которых принадлежало и Лондонское королевское общество, возникли по частной инициативе, в противовес официальной схоластической науке. Покровительственная система Кольбера нашла своё выражение и в учреждённой им Парижской академии, которая таким образом была Королевской не только по названию, но и по существу. В академии царил аристократическая верахия и строгая мелочная регламентация. Члены академии разделялись на почётных академиков, которыми обычно были высокие персоны, пенсионеров (действительных членов), которых имел право назначать король, и адъюнктов, по выбору академиков. Президент академии назначался королём на год. Заседания академии происходили два раза в неделю, и посещение их было обязательным для академиков.

Король вычёркивал из списка маникующих академиков. Он же давал отпуска. Заседания академии были закрытыми, официальные отчёты о них не публиковались. Деятельность академии стремилась окутать тайной, а самих учёных сделать членами особой касты, возвышающейся над простыми смертными. Вполне понятно, что ненависть революционного народа коснулась и академии. Академик Бальи, первый президент Национального собрания и мэр Парижа, мог сразу констатировать нерасположение к литераторам и академикам»

Но потребность жизни заставляла ломать цеховые, сословные и иные феодальные рогатки. Составить академию из одних титулованных особ, благородных бездарностей и знатных иностранцев было невозможно. Королевская академия имела в числе своих членов Д а л а м б е р а, К л е р о, Л а в у а зье. В 1769 г. в академики избирается Кондорсе, в 1772 г. адъюнктом избирается Л а п л а с. Позднее членами академии стали такие выдающиеся деятели революции, как М о н ж и К а р н о. Академиком был и инженер К у л о н (избран в 1781 г.).

Интересную характеристику Парижской академии и академиков в пред-революционный период мы находим в письме Петербургского академика-астронома А. И. Лекселя (1740—1784) к секретарю академии, сыну Эйлера — Иоганну Альберту Эйлеру из заграничной командировки. Письмо датировано: Париж 7 января 1781 г. Приведём некоторые выдержки из этого письма:

«Парижская академия является учреждением аристократическим или, если хотите, демократическим. Как известно, в ней различают три вида академиков: почётных, пенсионеров, соревнователей с адъюнктами. Почётные — это знатные лица, из среды которых назначают президентов сроком всего на один год. Президенты председательствуют на заседаниях и следят за соблюдением порядка и приличия при академических прениях, посящих порой довольно бурный характер. В прошлом году президент академии был герцог Аянский, а в этом году будет граф Мальбёуа. Класс пенсионеров имеет в академии наибольшее влияние, так как только его члены оплачиваются и получают все добавочные вознаграждения; так раздаваемые на академических заседаниях жетоны даются только пенсионерам, почему последние особенно аккурратно посещают академические заседания. Из среды пенсионеров берут директоров и заместителей директоров; они выбирают вопросы, выносимые на решение академии, и следят за порядком их обсуждения. В отсутствие президента директор или его заместитель председательствуют на академических собраниях. Класс пенсионеров имеет ещё то преимущество, что только его члены участвуют в голосовании, когда академия выбирает кого-либо в члены этого же класса, т. е. в пенсионеры. Относительно того, одни ли пенсионеры голосуют при выборах членов-соревнователей и адъюнктов, я недостаточно осведомлен... При раздаче академических мест не соблюдается право старшинства, а всё это скорее зависит от питриги (Лексель приводит в качестве примера питриги при избрании академиком аббата Боссю).

... Переходя к характеристике академиков, я начну с математиков, так как они интересовали меня более других. Прежде всего я должен несколько изменить своё первоначальное суждение о г. Даламбере, а именно, будто его внешность или лицо не говорят о великом математике. Присмотревшись к нему более внимательно, я вижу, что его выпуклый лоб является признаком спекулятивных талантов. Судя по одному его портрету, париксванному 20 лет тому назад, лицо его очень изменилось; в то время волосы и борода у него были чёрные, чего теперь нельзя заметить, тем более, что глаза у него серые. Во взгляде его осталось много живости и даже некоторая хитрость. Он мал и слаб телом, голова его сильно дрожит, хотя ему и не более 63 лет. Не говоря о его математических талантах, о которых надо судить по его трудам, я остановлюсь лишь на его замечательных общественных качествах. Он обладает счастливой памятью, помня почти всё, что читал; я слышал, как он цитировал отрывки из Тацита, Цицерона, поэтов, математических книг, как, например, суждения Бюльиардуса о демонстрации Архимеда касательно спиральных линий. Приятно слушать его рассказы и поучительные и забавные анекдоты. Обладая природным остроумием, он остёр без всякого усилия. Замечательны также его таланты размышления, письменного изложения и речи; но есть у него и большой недостаток — слишком резкий и уверенный тон, принимаемый им по всякому поводу, и излишек критики в отношении чужих мнений... (Лексель далее подробно останавливается на склонности Даламбера к критике) «что касается лично меня, то я пишу все основания быть довольным г. Даламбером, надеюсь сохранить его дружбу и буду оказывать ему полное уважение, несмотря на его недостатки, которых не могу не видеть».

Из других характеристик Лекселя приведём только несколько:

«Маркиз Кондорсе довольно известен своими математическими произведениями, которые так туманны, что он, может быть, сам их не понимает. Так по крайней мере здесь говорят и возможно, что это суждение достаточно справедливо. Но он очень талантливо пишет и проявляет много остроумия в своих похвальных словах, которые

всё же не заслуживают быть приравненными к речам Фонтенеля¹. Он очень мягок любезен и лишён претензий и упрямства, присущих большинству других французских учёных».

«Г. Монж очень способный человек, надавно припаятый в академию. Он написал работу о поверхностях, которые развёртываются в плоскость, и другую — о частных производных, которую ставят очень высоко. Лицо его очень неприветливо; он крайне чёрен, морщит брови и верхняя губа его отвёрнута. Он полон самомнения и при первой нашей встрече заявил мне, что считает себя единственным математиком в этой стране».

«Г. де Лаплас, по моему мнению, безусловно обладает наибольшими талантами к математике, по крайней мере к той части её, которая относится к чистому вычислению. Он автор прекрасных, замечательных произведений и сам это слишком хорошо знает, имеет² он также познания и в других науках, но мне кажется, что он ими злоупотребляет, желая решать всё в академии. К тому же он очень упрям. Его жёлчное, порой отвратительное настроение происходит, быть может и от чрезмерной бедности»...

«Г. Леруа, пенсионер по физике, очень любезный и приятный человек. Говорят, он хороший физик, но суждения его не кажутся мне очень глубокими и тонкими. Несмотря на это, он всегда имеет что доложить академии, иногда, впрочем, сушие пустяки. Вспоминаю, что он докладывал письмо, касающееся способа приготовления картофеля³».

«Г. Лавуазье — молодой человек очень приятной наружности, прекрасный и трудолюбивый химик. У него красивая жена, любительница литературы и председательница на собраниях академиков, когда они пьют у них чай после академических заседаний. Я несколько раз посещал эти собрания».

Чувствуется, что петербургский академик,⁴ коллега Эйлера, не слишком благоговействует перед Парижской академией и её членами. Особенно язвительны его отзывы (не приведённые нами) по адресу астрономов (отца и сына Кассини, Лемонье). В предреволюционные годы Парижская академия далеко ещё не пользовалась таким признанием и авторитетом, как это случилось позднее. После смерти Эйлера (1783) и перехода Лагранжа из Берлина в Париж (1787) Париж становится центром физико-математической мысли. Ликвидация феодальных пут, реорганизация науки и высшего образования закрепили лидерство Франции, которое только в 30-х годах перешло к Англии, выдвинувшей гениального Фарадея.

Революционная
реорганизация
науки и техники
во Франции.

Одним из
важнейших
актов ре-
волюцион-
ного пра-

вительства Франции, име-
ющим исключительное значе-
ние не только в быту и тех-
нике, но и в развитии на-
уки, является введение мет-



Рис. 174. Метрические меры.

¹ Кондорсе, так же как раньше Фонтенель, и впоследствии Араго был секретарём и, следовательно, должен был произносить похвальные слова умершим академикам.

² Любопытная деталь, характеризующая близость этой культуры. Ещё в 1787 г. Парментье своими трудами («Наставление о хранении и употреблении земляных яблок», «Трактат о культуре и употреблении земляных яблок») содействовал внедрению картофеля. В России в то время картофель был уже известен со времён Петра, а в 1765 г. последовал сенатский указ «о разводе и употреблении земляных яблок, которые называются тартофелями и картофелями».

рической системы мер. Этим актом как бы символизируется глубокое прогрессивное значение революции, а *Mètre d'Archive* является величественным памятником французской науки революционной эпохи. Королевская Франция, быть может, в большей степени, чем любое другое государство Европы, страдала от феодального произвола в мерах. Меры были разными не только в разных провинциях, но и в одном и том же городе и даже селе. Под одним и тем же названием скрывались различные меры. Королевская власть оказалась бессильной навести порядок в мерах, и требование единых мер и весов было почти всеобщим в наказах избирателей к созванному в 1789 г. Генеральным Штатам. Уже с 1790 г. Учредительное собрание занимается этим вопросом, заслушивает проекты Тилле и Абейя и проект Талейрана, тогда ещё епископа, будущего знаменитого дипломата. Проект Тилле и Абейя, которым предлагалось просто распространить существующие парижские меры на всю территорию Франции, был более консервативным, чем проект Талейрана о создании универсальной системы, взятой из «неизменной» природы и потому «неизменной». Учредительное собрание предпочло талейрановский проект. В качестве единицы длины, вслед за Гюйгенсом и академиком Кондаминиом, предлагалась длина секундного маятника на широте 45° . Предполагалось, что реформа мер будет осуществлена совместно с Англией, но это не осуществилось: Англия ревниво следила за развитием событий во Франции и в дальнейшем стала на путь интервенции.



Рис. 175. Старые меры.

Парижская Академия наук образовала комиссию в составе Кондорсе, Борда, Лагранжа, Тилле и Лавуазье, причём последние два члена вскоре были заменены Монжем и Лапласом. 25 марта 1791 г. Национальному собранию был представлен Комиссией проект реформы, исходивший из основной единицы метра, как 10 000 000-й доли четверти длины меридиана. Было предложено снарядить экспедицию для измерения дуги меридиана между Дюнкерком и Барселоной. 26 марта Собрание утвердило проект. Борда изготовил аппаратуру. Астроном Деламбр в июне 1792 г. приступил к измерению северной части дуги (от Дюнкера), астроном Мешен вёл барселонский вариант. Работа велась в тяжёлых условиях, отважным учёным приходилось рисковать жизнью. Война отрезала Мешена, он умер в 1804 г., не закончив работы. Его работу продолжали Араго и Био. Рассказ Араго об условиях работы в Испании, о его плене, бегстве, снова плене и о том, как ему удалось спасти результаты ценных наблюдений, напоминает роман. Понятно, что производство измерений затянулось, и 29 мая 1793 г. Борда, представляя академии эталоны килограмма и метра, высказался за немедленное проведение системы в жизнь, приняв временно меры, основанные на измерениях, проведённых Лакалем в 1740 г.

1 августа 1793 г. Конвент наряду с декретом о предании суду Марии Антуанетты, о закрытии парижских застав, изгнании враждебных иностранцев, принимает декрет о введении метрической системы. Теперь система становится политической необходимостью, она отвечает задачам объединения Франции, должна сыграть большую роль в борьбе со спекуляцией, её провозглашение бьёт по ненавистным остаткам феодализма и тирании. Конвент избирает Временную комиссию мер и весов в составе Борда, Лавуазье, Лапласа, Кулона, Деламбра, Бертолле, Монжа, Лагранжа, Гаюп и др.

8 августа Конвент упраздняет академии. 23 декабря Комитет общественного спасения выводит из состава комиссии Борда, Лавуазье, Лапласа, Кулона и Деламбра, как не пользующихся доверием революционного народа, взамен которых вводятся Прони, Вандермонд и др. На изготовленном платиновом эталоне Конвент приказывает выбить гордую надпись «На все времена, для всех народов».

Таким образом, заслуга введения метрической системы остаётся за Революционным конвентом, этим «разрушителем культуры», по мнению реакционных историков. Позднее, одним из первых актов Советской власти будет введение метрической системы в России (декрет Совнаркома от 14 сентября 1918 г.).

Приёр, член Комитета общественного спасения, энергично боровшийся за введение системы мер, говорил в своём докладе Конвенту: «Учредительное собрание положило основу этому преобразованию (мер), но Национальному конвенту, повидимому, предстояла честь завершить это славное предприятие. Он получит это новое основание для благодарности общества, которую он заслужил своей громадной работой. Ещё в другом отношении эта реформа мер и весов представляет интерес: она, с одной стороны, опирается на самое точное, что содержится в математике и физике, и в то же время является доказательством успехов, которых они достигли, и средством для дальнейшего их совершенствования; с другой стороны, она исходит до самых глубин гражданского быта»¹.

К этим словам Приёра можно добавить, что именно на базе метрической системы могли сложиться в будущем научные системы единиц, системы CGS, техническая, практическая и другие системы. Однако потребовалось почти сто лет, чтобы ликвидировать «пережитки феодализма» в научных измерениях, и только на международном электрическом конгрессе в Париже в 1881 г. удалось достигнуть соглашения.

Показательно, что почти одновременно с декретом о введении системы мер произошла ликвидация старых академий. Свежий ветер революции сметал обветшалые постройки. Упразднение королевских академий, казнь Лавуазье, эмиграция реакционных учёных, казнь Балли, самоубийство Кондорсе и аналогичные акты давали повод реакционным писателям кричать о разрушении культурных ценностей, варварстве и т. п. Сочинялись анекдоты вроде известного изречения «республика не нуждается в учёных». Однако именно революция вызвала к жизни всё прогрессивное и ценное, что было во французской науке, вдохнула в неё новую жизнь и обеспечила за ней ведущее место. Забывают, что Лавуазье и другие были репрессированы как враги революционного народа, забывают о величайших заслугах революционной науки. Античность оставила нам сказание о гражданском подвиге Архимеда. Но деятельность, передовых учёных

¹ О. Старосельская - Никитина. Очерки по истории науки и техники периода французской буржуазной революции 1789—1794 гг., АН СССР, 1946, стр. 149—150.

революционной Франции не имела образцов в прошлом и представляла невиданную картину единения революционного творчества масс и научной мысли. Молодой Республике угрожала серьёзная опасность. Она находилась в состоянии войны с коалицией реакционных государств, в состоянии войны с Англией, вспыхнуло Вандейское восстание, контрреволюция подняла голову. Франция была отрезана от внешних рынков, собственная промышленность была чрезвычайно слабой. Не было оружия, пороха,



Монж.

пушек, обмундирования для армии. Конвент обратился к учёным. Монж заявил, что селитра, столь необходимая для производства пороха, найдётся во Франции. За селитрой встал вопрос о металле, коже, ремонтных мастерских и т. д. Приведём выдержки из биографий А р а г о, которые ярко рисуют достижения научно-технической и организационной работы революции. В биографии Карно мы читаем:

«Недоставало чистой меди: голос отечества и науки нашёл её в монастырских и приходских колоколах и в башенных часах¹. Этот рудник доставил то количество металла, которое перестали привозить из Англии, Швеции и России. Недоставало селитры: земля, которую наука употребляла только для своих ограниченных, кабинетных опытов открыла свои сокровища и удовлетворила потребностям войск. Приготовление кож для обуви солдат требовало целые месяцы, и солдаты, в ожидании, ходили босые; кожевенное искусство получило неожиданное совершенство²: месяцы превратились в дни. Фабрикация оружия замедлялась неизбежными мелочными работами: механические средства укреплений, облегчали руки масте-

ров³, и оружие с избытком появилось в армиях.

До 1794 г. воздушные шары были только предметом любопытства: перед сражением у Флерюса генерал Морво поднялся к облакам и оттуда высмотрел манёвры неприятеля; эта смелость доставила французам блистательную победу. Карандаши из графита служат перьями и чернилами для офицера: карандашом на седле он чертит несколько букв, направляющих в бой тысячи пеших, конных и артиллерию.

Графит считался материалом, не существующим в нашей почве: Комитет Безопасности велел найти его; приказание исполнено, и с того времени графит составил одну из важнейших отраслей нашей промышленности. Наконец, нельзя же вычислить все открытия того времени: первые идеи о телеграфах были извлечены из фолиантов, давно забытых в пыли библиотек; их усовершенствовали и распространили, и приказание в войске начали перелетать в несколько минут; Комитет Безопасности начал следить за войною на востоке, севере и западе, как бы переселялся из Парижа на места сражений⁴.

¹ Химик Фуркруа открыл способ извлечения бронзы из колоколов.

² Сеген открыл новый способ дубления кож.

³ Для пиструктажа рабочих оружейных и сталелитейных предприятий были изданы книги: Монж, «Описание техники литья пушек» и «Руководство для рабочих... по выделке стали» Монжа, Бертолле и Вандермонда (ноябрь 1793 г.). Кроме того, были организованы краткосрочные курсы для подготовки рабочих и техников, на которых работали такие выдающиеся учёные, как Готтон, Морво, Фуркруа, Бертолле, Монж и др.

⁴ Изобретатель оптического телеграфа Ш а п п (1763—1805) тщательно добивался реализации своего изобретения. Комитет общественного спасения предоставил Шаппу необходимые средства, была оборудована первая линия оптического телеграфа, соединившая Париж с Северной армией. По этой линии за 1 час дошла из Лилля весть о взятии бельгийской крепости. А р а г о, «Биографии», т. 1, стр. 445—446.

Подводя итоги кипучей организационной деятельности Монжа, Араго указывает:

«До революции во Франции в год добывалось селитры не более миллиона фунтов: стараниями комиссии, одушевленной Монжем, в десять месяцев добыто двенадцать миллионов.

Во всё время государства было только два меднопушечных завода: деятельностью нашего товарища¹ устроено пятнадцать, и на них ежегодно отливалось семь тысяч пушек. Четыре завода чугуно-пушечных заменены тридцатью, и вместо девяти сот вачали отливать ежегодно тридцать тысяч пушек.

В той же пропорции размножились заводы для бомб, ядер и прочих артиллерийских принадлежностей.

Не было ни одной мануфактуры для ручного оружия; учреждено двадцать. В одном Париже начали делать в год по сто сорок тысяч ружей, чего не могли получить из всех оружейных заводов. Не удовлетворялись парижскими заведениями, уредили их во всех местах республики, наименее подверженных нападениям неприятелей. Наконец, вместо шести мастерских для починки всякого рода оружия в самом начале войны явилось восемьдесят девять»².

Конечно, нельзя забывать, что замечательная работа прогрессивных французских учёных по благо революционного отечества ещё не означала полного и безоговорочного служения революционному народу. Большинство учёных, ставших вначале на службу революции, такие, как Лавуазье, Лаплас, Борда, Балли, не хотели углубления революции, мечтали о скорейшем её завершении в интересах крупной буржуазии и потому справедливо привлекали на себя подозрения революционных демократов. Другие, как, например, Фуркруа, в эпоху термидорианской реакции переметнулись в лагерь реакционеров и открыто поливали грязью революционное прошлое. Пора подлинно народной науки ещё не наступила, передовая наука французской революции была наукой буржуазной. Поэтому, когда буржуазия после термидора и 18 брюмера использовала в своих интересах победу, завоеванную для неё народными массами, она не забыла и науку. Мероприятия по организации науки и образования, начатые революционным Конвентом, были завершены и развиты в эпоху Директории, Консульства и Империи. Эти мероприятия в сильной степени способствовали развитию науки, но надо помнить, что они были обеспечены героической борьбой голодных патриотов, руководимых теми же Маратом и Робеспьером, по адресу которых даже «левый» Араго не скупился на самые резкие слова.

Конвент, несмотря на трудности, связанные с войной и борьбой с контрреволюцией, не переставал заниматься вопросами образования и культуры. Намечались широкие мероприятия по развитию начального, среднего и высшего образования. Должно быть осуществлено полное отделение школы от церкви, большое внимание уделялось практическому, наглядному обучению. Школа даже на начальной ступени должна давать ту или иную специализацию. Особое значение приобретали физико-математические и технические науки.

Для выполнения этой программы требовались кадры преподавателей. Революционная Франция пошла и на революционные меры: для обучения будущих специалистов и преподавателей стали привлекаться крупнейшие учёные.

30 октября 1794 г. в Париже была учреждена так называемая «Нормальная школа» — четырёхмесячные курсы для обучения лиц, уже имеющих специальную подготовку, искусству преподавания. В Нормальной

¹ Араго имеет в виду, что Монж был членом академии. Биографии Араго, неперменного секретаря академии, читались в собраниях академии.

² А р а г о, Биографии, т. I, стр. 518.

школе читали Лагранж, Лаплас, Монж, Гаюи, Бертолле и другие выдающиеся учёные.

Для подготовки инженеров, как гражданских, так и военных, по инициативе инженера Ламбларди, проекту Фуркруа и деятельном участии Монжа была учреждена 28 сентября 1794 г. «Центральная школа общественных работ». После термидора эта школа 1 сентября 1795 г. была пре-

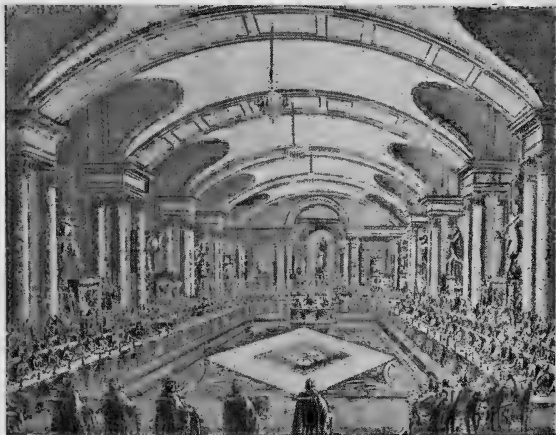


Рис. 176. Заседание Института

образована в Политехническую школу с трёхгодичным обучением. Школа была прекрасно оборудована, она размещалась в бывшем королевском дворце, имела превосходные кабинеты, коллекции, библиотеки. Первыми её профессорами были Лагранж, Прони, Монж, бывший подлинным создателем и вдохновителем этого замечательного учреждения.

Из Политехнической школы вышли замечательные учёные, составившие славу Франции: Ампер, Френель, Пуассон, Пуансо, Араго, Гей-Люссак, Малюс, Био, Коши и многие другие. Воспитанники школы строили плотины, порты, мосты, маяки, дороги, работали в рудниках, на заводах, были выдающимися военными инженерами. Наполеон высоко оценивал школу, при нём она получила дальнейшее преобразование.

В том же 1794 г. Конвент учредил «Консерваторию технических искусств и ремёсел». Это был музей важнейших технических изобретений, при нём была организована экспериментальная мастерская, организовывались курсы лекций по вопросам промышленности.

Наконец, оформилась и научная организация взамен упразднённых академий; специальным параграфом в так называемой «Конституции

III года» был учреждён Институт. Текст закона гласит: «Институт входит в состав республики. Он должен собирать открытия, совершенствовать науки и искусства. Каждый год он должен давать отчёт законодательному корпусу об успехах наук и о трудах каждого своего класса». Законом 28 октября 1795 г. Институт разделялся на три класса: I класс — физико-математические науки, II — науки моральные и политические, III — литература и искусство. В состав всех классов входило 144 академика, первые 48 были назначены правительством и им было поручено избрать остальных 96 академиков.

В числе первых 48 членов Института были Лагранж, Лаплас, Монж, Бертолле, Прони и другие. Членом Института был и Бонапарт. Институт просуществовал до 1816 г., когда после реставрации он снова был преобразован в академию: Французскую академию и Академию надписей. Политехническая школа и Институт сыграли огромную роль в развитии физико-математических наук во Франции.

В нашу задачу не входит изложение истории учебных и научных учреждений Франции, структура которых менялась и в эпоху Империи и в период реставрации. Для нас важно установить факт, что в результате революции создались технические и организационные предпосылки для успешного развития наук.

Прежде чем начать рассмотрение эволюций физики и физических воззрений в рассматриваемый нами период, очерким вкратце достижения французской науки в предреволюционный период, останавливаясь попутно на тех фактах истории физики, которые не были нами освещены в обзоре предыдущей главы.

Механика — небесная, теоретическая и практическая — стала первой отраслью физико-математических наук, в которой французская наука заняла ведущее место в революционный и послереволюционный период. Но пока был жив Эйлер, а Лагранж работал в Берлине, французская механика ещё не занимала такого места, хотя уже имела ряд блестящих достижений, в особенности в области небесной механики. Здесь в первую очередь надо упомянуть Даламбера, Клеро и молодого Лапласа.

Мы уже говорили о заслугах Даламбера в механике, здесь коротко упомянем о его достижениях в теоретической астрономии. Даламбер принял участие в разработке теории движения Луны, которой занимались одновременно с ним Эйлер и Клеро. Даламбером была разработана теория предварения равноденствий, причём ему удалось не только объяснить прецессию земной оси с 26-тысячелетним периодом, но и явление нутации, открытое в 1721 г. Даламбер же занимался и вопросом о фигуре Земли.

Соперником Даламбера в разработке вопросов теоретической астрономии был даровитый математик Клеро. Сын профессора математики Клеро родился в 1713 г. Уже девяти лет он изучал курс высшей математики Лопиталя. В тринадцатилетнем возрасте он представил Парижской академии мемуар «О четырёх кривых линиях, имеющих замечательные свойства». Восемнадцати лет от роду Клеро стал академиком. В 1743 г. вышло его классическое сочинение «Теория фигуры Земли», а в 1765 г. «Теория Луны». Им впервые были написаны уравнения движения трёх тел. Кроме этих исследований, занявших важное место в истории теоретической астрономии, Клеро прославился своим исследованием кометы Галлея. Галлеем было установлено, что комета 1682 г. тождественна с кометами, наблюдавшимися ранее, и что, следовательно, она является периодической с периодом приблизительно 76 лет. Он предсказал её появление в 1758 г.

Клеро предпринял вычисление точного времени возвращения, так как в назначенный год она не появилась. Он показал, что вследствие того, что комета в своём движении проходила вблизи Сатурна и Юпитера, её движение возмущалось и период увеличился на год и восемь месяцев. Он предсказал её появление 4 апреля 1759 г. Клеро ошибся всего на 22 дня, она была замечена раньше крестьянином Паличем в Саксонии. Это был величайший триумф точной науки.

Кометы, которые издавна служили предметом суеверий, были подчинены строгим законам природы. Вольтер откликнулся на это событие стихами:

Кометы, которых боялся, словно ударов грома,
Полно вам пугать народы, населяющие землю;
Двигайтесь по гигантским эллиптическим путям...

Араго говорил: «Исполнившееся предсказание Клеро произвело на общество более действия, нежели все хитрые доказательства философа Бейля»¹. Так наука XVIII в. сливалась с деятельностью просветителей и материалистов.

Но, несмотря на эти успехи, в системе Ньютона оставалось много загадочных мест, подрывающих веру в неизменный порядок вещей во вселенной, в гармоничный ход мировых часов. Уже сам Ньютон считал, что бог должен время от времени восстанавливать нарушенный порядок, и Эйлер склонялся к этому мнению. Дело в том, что движения планет обусловлены не только взаимодействием с Солнцем, но и взаимодействуют друг с другом. Эти взаимодействия чрезвычайно осложняют картину, возникают возмущения, не поддающиеся учёту, и нет ничего невероятного в том, что эти малые возмущения, накапливаясь, со временем приведут к нарушению устойчивости солнечной системы, к её гибели.

Необходимо было выяснить, обеспечивает ли закон тяготения устойчивость системы. Лаплас занимался этим вопросом неоднократно и пришёл к положительному выводу. В 1773 г. он доказал, что при всех возмущениях большие полуоси орбит, а следовательно, и времена обращения остаются неизменными, а в 1784 г. доказал устойчивость остальных элементов.

Эта устойчивость обеспечивалась, по Лапласу, законом тяготения и начальными условиями: а) обращение всех планет по одному направлению, б) малый эксцентриситет их орбит, в) малое взаимное наклонение орбит. Лапласу удалось разрешить загадку возмущений Юпитера и Сатурна, объяснить вековое ускорение Луны, рассчитать движение спутников Юпитера. Наблюдения обнаружили непрерывное ускорение Луны и Юпитера и замедление Сатурна. Сохранение этих ускорений означало бы конечное падение Юпитера на Солнце и удаление Сатурна из солнечной системы.

Лаплас показал, что при расчёте движений в формулах разложения в ряд неправильно отбрасывали следующие члены разложения, которыми нельзя было пренебречь. При более точных расчётах эти вековые ускорения исчезали. Вернувшись в 1784 г. к этим расчётам, Лаплас доказал периодичность возмущений и вычислил период, который оказался равным приблизительно 913 годам. Сами эти возмущения являются следствием простого числового соотношения периодов Юпитера и Сатурна: пять пе-

¹ Бейль Пьер (1647—1706), автор «Исторического и критического словаря», французский философ, которого Маркс и Энгельс называли отцом французского просвещения, человеком теоретически подорвавшим всякое доверие к метафизике, возвестившим появление атеистического общества. Его словарь вышел в Роттердаме в 1695—1697 гг.

риодов Юпитера почти точно равны трём периодам Сатурна. «Почти» играет очень важную роль: при точной соизмеримости возмущения были бы не периодическими, а всковыми.

Не менее блестящим достижением Лапласа было объяснение векового ускорения Луны, открытого Галлеем в 1693 г. Это ускорение объясняется периодическими пульсациями орбиты Земли, Луна получает ускорение, когда орбита Земли приближается к кругу, и замедление — при её вытягивании. Таким образом, вековое ускорение Луны на самом деле является периодическим. Этот расчёт был выполнен Лапласом в 1787 г.

В год революции (1789) Лаплас закончил расчёт движений спутников Юпитера. Эти движения ещё Галилей предполагал использовать как точные часы для мореплавателей, и, как известно, запаздывания затмений одного из спутников привели Рёмера к определению величины скорости света. Однако точные законы движения спутников оставались неизвестными. Эти законы носят название законов Лапласа.

Приведём формулировку третьего закона: «без учёта вековых возмущений период обращения первого спутника, сложенный с удвоенным периодом третьего, даёт утроенный период второго».

«... Каждое исследование Лапласа, — говорят Араго, — открывало во вселенной и на нашей земле условия порядка и неизменности». И действительно, Лаплас, более чем кто-либо из других исследователей, способствовал укреплению принципа механического детерминизма, который он выразил в замечательных словах:

«Разумное существо, которое в каждый данный момент знало бы все движущие силы природы и имело бы полную картину состояния, в котором природа находится, могло бы — если бы только его ум был в состоянии достаточно проанализировать эти данные — выразить одним уравнением как движение самых больших тел мира, так и движение мельчайших атомов. Ничего не осталось бы для него неизвестным, и оно могло бы обозреть одним взглядом как будущее, так и прошлое». («Опыт философии теории вероятностей»).

Но этот механистический детерминизм толкал Лапласа к анализу «начальных условий», к раскрытию мистической тайны ньютоновского первого толчка и диалектический ход развития был таким, что именно Лапласу, вслед за Кантом, пришлось пробить брешь в окаменелом мировоззрении, торжеству которого он так много содействовал, и стать автором первой космогонической гипотезы.

Расцвет гения Лапласа приходится на революционный и послереволюционный период. Но уже сейчас складываются основные направления его научной деятельности. Лаплас — это прежде всего автор «Небесной механики», контуры которой несомненно вырисовывались в его уме в предреволюционную эпоху. В этот же период мы видим Лапласа в роли экспериментатора. В сотрудничестве с Лавуазье он занимается тепловыми измерениями. Они сконструировали — о чём мы уже говорили в предыдущей главе — ледяной калориметр, и им принадлежит наиболее точный в то время метод измерения линейного коэффициента расширения твёрдых тел.

В практической механике в этот период мы должны отметить два важных факта. Это, во-первых, появление замечательного произведения Л. Карно «Опыт о машинах вообще» (1783), во-вторых, исследования Кулоном явлений кручения, результаты которых опубликованы в «Парижских мемуарах» в 1784 г., приведшие его к построению знаменитых крутильных весов и установлению зависимости модуля кручения от диаметра проволоки. Независимо от него, на британских островах крутильные весы

строит Кэвендиш, соперник Кулона как в механических, так и электрических исследованиях. Выходя из рамок хронологического порядка, мы скажем здесь, что крутильные весы Кэвендиша дали ему возможность выполнить классические исследования по определению гравитационной постоянной и плотности земли. Эти исследования Кэвендиша проведены им в 1797—1798 гг.

Замечательная работа Карно, о которой почему-то умалчивается в истории физики, является значительной вехой в истории развития учения об энергии. Карно исследует вопрос о полезном действии машин вообще (его сын, о котором мы будем говорить ниже, исследовал вопрос о полезном действии тепловых машин) и приходит к мысли оценивать это действие количеством исчезнувшей живой силы. Он показал, что эта потеря будет тем больше, чем резче меняются скорости. Здесь же он останавливается на вопросе о вечном двигателе и указывает, что всякая машина вследствие трения непременно остановится, вычисляя даже время, в течение которого израсходуется запас живой силы. Отсюда видно, какое важное, принципиальное значение имела эта работа.

В год, предшествующий революции, вышла «Аналитическая механика» Лагранжа — замечательный венец вековой работы, проделанной механиками-геометрами после Ньютона. Мощь аналитических методов даёт возможность Лагранжу расширить круг задач, рассматриваемых в механике. Так, в статике он кроме точки и неизменяемой системы рассматривает равновесие нитей. Применяя принцип Даламбера и принцип возможных перемещений, Лагранж получает уравнения динамики как первого, так и второго рода. Им начато изучение малых колебаний.

Беслед за механикой внимание учёных попрежнему привлекает природа тепла. Эти вопросы занимают и Вольтера и будущего знаменитого революционера Марата. Исследования природы тепла теснейшим образом связываются с химическими исследованиями, и здесь мы должны в первую очередь отметить гениального Л а в у а з ь е (1743—1794). Мы уже упоминали о его калориметрических и dilatометрических измерениях, выполненных вместе с Лапласом. Но бессмертная заслуга Лавуазье заключается в установлении научных основ современной химии: закона сохранения масс (вслед за Ломоносовым), теории горения, анализа и синтеза воды.

В 1772 г. Лавуазье с лифзой в 33 дм в диаметре, изготовленной известным Ч р и г а у з е п о м, математиком, физиком и крупным заводчиком, произвёл опыт сжигания алмаза. Ему удалось установить, что в отсутствии воздуха алмаз выдерживает высокую температуру, не сгорая, а только темнея. Далее, повторив опыт сжигания алмаза солнечными лучами в замкнутом сосуде и исследуя выделившийся газ, он установил его тождественность с углекислотой, открытой ранее Блэком и названной им «сгущённым газом». Эти опыты привели Лавуазье к мысли, что горючее



Лавуазье.

начало не является флогистоном, а имеет своим источником воздух или «по крайней мере, что это субстанция, извлечённая из атмосферного воздуха».

В 1774 г. Пристли и почти одновременно с ним шведский химик Шееле открыли кислород, который последним был назван «дефлогистированным воздухом». В том же 1774 г. вышли «Физико-химические этюды» Лавуазье, в которых он описывает опыты с металлами и минералами, подвергающимися прокаливанию. В этих опытах он обнаружил



Рис. 177. В лаборатории Лавуазье.

увеличение веса прокаляемого металла за счёт воздуха. Однако к выводу, что это горючее начало тождественно с кислородом, он пришёл позднее. Знаменитый опыт по разложению окиси ртути поставлен был им в 1775 г. по совету Пристли. В 1777 г. в «Мемуарах академии» Лавуазье помещает ряд статей по горению, направленных против теории флогистона. Но Лавуазье, покончив с флогистоном, оказался не в состоянии покончить с теплородом. В «Трактатах о теплоте» Лавуазье и Лаплас считают, что калориметрические факты и факты изменения агрегатного состояния тел под действием теплоты заставляют принять существование тонкой отталкивающей теплотворной жидкости (calorique).

Успехи химии были теснейшим образом связаны как с развитием металлургии, так и с развитием пневматики. В XVIII в. открыли углекислоту, кислород, водород (1766 г., Кэвендиш) и другие газы. В Англии на почве успехов химии и физики газов был учреждён Пневматический институт, в котором начал свою научную деятельность Дэви. Успехи пневматики позволили установить состав воды. В 1781 г. Варлтур, пропуская искру в сосуде, содержащем водород и воздух, обнаруживает капли воды на стенках сосуда. Затем Кэвендиш при помощи искры сжигает водород в кислороде (1783) и получает воду. Пристли в апреле того же года устанавливает, что вес капелек воды равен сумме весов кислорода и водорода. Уатт, анализируя опыты Кэвендиша и Пристли, приходит к выводу, что вода состоит из водорода и кислорода. Мюжво в Франции, не зная об опытах Кэвендиша, занимается теми же исследованиями. Наконец, Лавуазье в сотрудничестве с Лапласом и Менье производит не только синтез, но и анализ воды и находит её точный состав. Так окончил своё существование один из четырёх



Рис. 178. Подъём монгольфьера.

аристотелевских элементов. Да и другой элемент — воздух — оказался смесью. Возникло новое представление об элементах и новая химия — химия Ломоносова — Лавуазье — Дальтона.

Открытия в физике и химии газов привели также к возникновению воздухоплавания. Владельцы бумажной фабрики братья Жозеф (1740—1810) и Этьен (1745—1799) Монгольфье 5 июля 1783 г. наполнили тёплым воздухом баллон из полотна, подбитого бумагой, который поднялся на высоту до 2000 м. Этот опыт вызвал сенсацию. В том же году братья подняли на воздух первых «пассажиров» — овцу, утку и петуха.

Химик и физик Шарль (1746—1823) наполнил водородом шар из шёлковой ткани, который поднялся в воздух 27 августа 1783 г., однако на высоте выше тысячи метров взорвался. 21 ноября 1783 г. Пилатр де Розье (1756—1785) вместе с маркизом д'Арланд впервые совершили

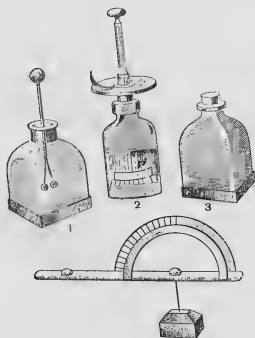


Рис. 179. Электрометры.

полёт на монгольфьере над Парижем. 1 декабря Шарль, изготовив оболочку из приобретённой им непроницаемой шёлковой прорезиненной ткани, поднялся сам с пассажиром, а 3 декабря того же года инженер

Менье (1754—1783), талантливый математик и физик, представил в академию доклад о воздухоплавании, в котором разрабатывает проект не только аэростата, но и дирижабля с винтовым управлением с экипажем в 30 человек. Этот талантливый учёный, сотрудничавший с Лавуазье в опытах анализа воды, погиб, сражаясь за революционную Францию.

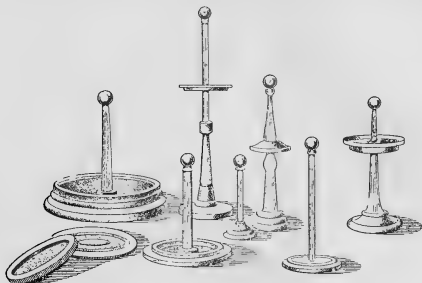


Рис. 180. Конденсаторы Вольты.

Мы уже упоминали, что воздухоплавание было применено в 1794 г. во Франции. Интересно, что первый аэростат был построен в Рязани подъячим Крякутным в 1731 г.¹, который сам и предпринял первый полёт.

Однако полёт изобретателя окончился плачевно, ему пришлось бежать из города, так как жители хотели закопать его живым в землю за сношения с нечистой силой.

Обзор дореволюционной физики мы закончим электричеством. В рассматриваемый период эмпирические искания завершаются установлением количественных закономерностей электрических и магнитных взаимодействий. Измерительная техника обогатилась замечательным электрометром с конденсатором Вольты и крутильными весами Кулона.

В 1772 г. Генли конструирует электрометр, а в 1779 г. Кавалло заключает электроскоп Кантона в стеклянную банку. За четыре года до этого Вольт изобрёл электрофор. С помощью этого простого прибора он продемонстрировал почти неограниченную возможность извлечения электричества из наэлектризованного диска. Прибор был так им и назван «electroforo perpetuo». В 1781 г. Вольт заменяет в электроскопе Кавалло — Кантона нити с шариками сухими соломинками, и это простое видоизменение повысило чувствительность прибора. Через год Вольт снабдил электрометр конденсатором, и прибор мог быть с успехом использован для измерения малых напряжений. В 1785 г. Беннет сконструировал электроскоп с золотыми листочками.

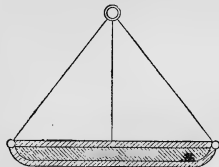


Рис. 181. Электрофор Вольты.

Увлечение атмосферным электричеством приносило забавный характер. Изготавливали специальные «громоотводные костюмы», кавалеры при приближении грозных туч обнажали шпаги и поднимали их кверху. Однако имелись и солидные научные достижения. С о с с у р присоединил к электроскопу Кавало металлический стержень с остриём для исследова-

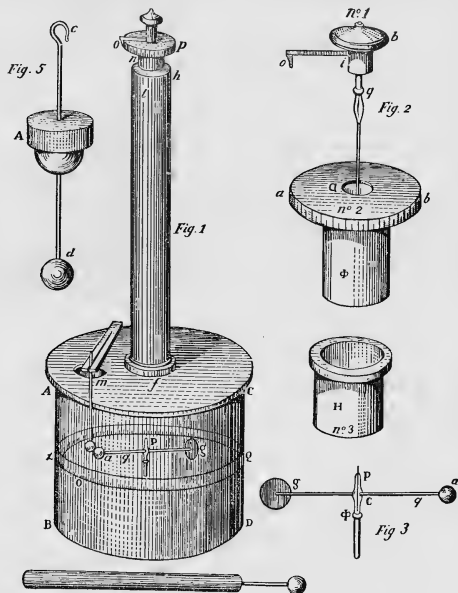


Рис. 182. Установка Кулона.

пия атмосферного электричества. В о л т а присоединил к стержню горящую свечу. Этот зонд в соединении с его чувствительным электрометром оказался прекрасным средством изучения электрического поля земли. Но не только ионизирующая способность пламени была замечена Вольтой. Вместе с Лавуазье и Лапласом он обнаружил электризацию при испарении. Это явление связывалось с возникновением заряда в тучах: метеорологические процессы, по мнению Вольта, приводят к электризации атмосферы. Ломоносовские идеи получили таким образом дальнейшее развитие.

Кулон пошёл по другому пути конструкции электроизмерительных приборов. Этот путь был продиктован исследованиями кручения.

Шарль Огюстен Кулон родился 14 июня 1736 г. Завершив образование в Париже, он работал военным инженером на острове Мартиника. Вернувшись в Париж, он ведёт напряжённую исследовательскую работу в области практической механики. Его интересуют вопросы сопротивления материалов, он изучает законы трения, законы кручения. За его работы по кручению он был избран в 1781 г. членом академии. Когда

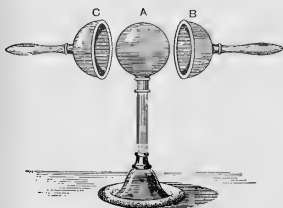


Рис. 183. Опыт Кулона.

академия опубликовала конкурентную задачу на лучшую конструкцию корабельного компаса, Кулон приступил к исследованию электрических и магнитных сил. В его электрометре использован принцип крутильных весов (рис. 182). Стекланный цилиндр имеет на окружности измерительную градусную шкалу. В крышке цилиндра имеются центральное и боковое отверстия. В центральное отверстие пропущена серебряная нить, закреплённая на измерительной головке и проходящая по оси

высокого стекланный цилиндра, заканчивающегося упомянутой головкой. Нить несёт лёгкое стекланный коромысло, заканчивающееся шариком и противовесом. В боковое отверстие пропускается стержёнок, несущий наэлектризованный шарик. В первом мемуаре 1785 г. Кулон исследует отталкивательную силу и находит, что при угловых расстояниях между шариками (которые первоначально при контакте получают одинаковые заряды) 36° , 48° , 9° , нить закручивалась соответственно на 36° , 144° и 576° , т. е. силы росли обратно пропорционально квадратам расстояний. Во втором мемуаре Кулон нашёл закон взаимодействия магнитных полюсов. Исследуя распределение электричества в проводниках, Кулон осуществил классический опыт с шаром и накладными полушариями.

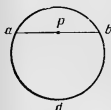


Рис. 184. К опыту Кэвендиша.

На шар А (рис. 183) накладываются с помощью изолирующих ручек полушария В и С, и система заряжается. Затем полушария отодвигаются, и исследуется электрическое состояние как их самих, так и шара. Шар

оказывается незаряжённым, тогда как полушария наэлектризованы. Если зарядить сначала шар А, а затем наложить полушария, то результат оказывается тем же самым: электричество с шара перетечёт на полушария. Кулону была ясна связь этого факта с законом квадратов. Но ему не было известно, что уже в 1771 г. Генри Кэвендиш подобным экспериментом определял закон взаимодействия электричеств. Исследования Кэвендиша оставались неизвестными до тех пор, пока их не опубликовал Масквелл, повторивший измерения Кэвендиша с современной ему точной аппаратурой. Идея метода Кэвендиша такова.

Представим себе проводящую сферу $acbd$ (рис. 184) и плоскостью ab рассечём её на два сегмента acb и adb . Электричество в точке p будет испытывать действие как со стороны верхнего сегмента, так и со стороны нижнего сегмента. На верхнем сегменте размещается электричества меньше, чем на нижнем, но зато его заряды ближе к точке p , и если силы элементарных зарядов действуют как r^{-2} , то действие в точке p верхнего сегмента в точности скомпенсирует действие нижнего сегмента, и точка p окажется

незаряженной. Иное будет при другом законе r^{-n} . Если $n < 2$, то компенсация расстоянием для верхнего сегмента окажется недостаточной, действие нижнего сегмента будет больше, положительное электричество из p потечёт на верхний сегмент, точка зарядится отрицательно. При $n > 2$, наоборот, на верхнем сегменте будет избыток электричества, из точки p потечёт отрицательное электричество, она зарядится положительно.

Таким образом, исследуя электризацию внутренних точек, можно определить n в законе элементарного взаимодействия, который можно предположить в виде $f(r) = \frac{k}{r^n}$. Опыт Кэвендиша несколько иной по сравнению с опытом, произведённым позднее Кулоном.

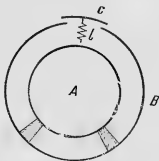


Рис. 185. К опыту Кэвендиша.

Внешнюю с опытом, произведённым позднее Кулоном. Внутренний шар A (рис. 185) отделён изоляционным кольцом от внешнего шара, составленного из двух полушарий. В верхней части внешнего полушария имеется отверстие, закрываемое металлической крышечкой c с припаянной к ней металлической проволоочкой l . Вначале крышечка закрывает отверстие, и проволоочка l устанавливает проводящий контакт внешней и внутренней сфер. Система заряжается. С помощью шёлковой ниточки снимают крышечку, уничтожают контакт и исследуют заряд внутренней сферы. Опыты Кэвендиша дали, что $n = 2 \pm \frac{1}{50}$. Максвелл, повторяя

опыт Кэвендиша, показал, что $n = 2 \pm \frac{1}{2460}$. Таким образом, закон Кулона оправдывается с высокой степенью точности, какой, разумеется, не могли быть в его первоначальных опытах, и его закон, собственно говоря, был гениальной экстраполяцией данных опыта. Кулон сам чувствовал это, когда предпринял косвенную проверку закона.

Открытие Кулона послужило толчком к поискам элементарных законов взаимодействий. Теоретики первой половины XIX в. напряжённо ищут форму универсального элементарного закона. О роли среды в кулоновских законах ничего не говорится. Законы представляют собой перенесение методов ньютоновского описания в электростатику и магнитостатику. Тем самым был открыт путь математического анализа этих областей физики.

Лаплас.

Как ни значительны успехи дореволюционной французской науки, они меркнут по сравнению с блестящими достижениями революционной и послереволюционной

Франции. Мы уже говорили выше об исключительной деятельности французских ученых в эпоху революционных войн. Новая организация науки и специального образования принесла замечательные результаты. Наряду со старыми академиками появляются новые имена: Малюс, Био, Араго, Ампер, Френель, Пуассон, Понселе и другие. Именно во Франции сложилась первая научная школа, и этим объясняется то обстоятельство, что во всех существенных открытиях описываемого периода французским учёным принадлежала заслуга их фундаментальной разработки. В Италии Гальвани и Вольта открыли новые электрические

¹ Генри Кэвендиш (Henry Cavendish, 1731—1819) — богатый лорд, прославившийся многими химическими и физическими исследованиями (состав воды, определение гравитационной постоянной и плотности земли, закон электрических взаимодействий — его важнейшие научные результаты). Однако он не любил публиковать свои исследования и прослыл чудачком и нелюдимым.

явления. Но Вольта работал в тесном контакте с Институтом и на французские источники опирались Петров в России и Дэви в Англии. Принцип интерференции открыл Юнг в Англии, но Френелю и Араго принадлежит всесторонняя разработка этого принципа и создание теории поперечных световых волн.

Эрстед открыл действие тока на магнитную стрелку; Био, Савар, Лаплас, Араго и, наконец, Ампер разрабатывают электродинамику. Лаплас и Пуассон соперничают с Гринем и Гауссом в разработке математических проблем теории потенциала. Фурье создаёт классическую теорию теплопроводности, а Карно пишет знаменитые «Размышления о движущей силе огня». Но уже самый перечень открытий и результаты характеризуют направление школы, в котором наряду с сильными чертами скрывались и серьёзные дефекты. Основной дух французской физики — ньютонизм. В укреплении этого направления огромное значение имели работы Лапласа.

Лаплас, маркиз, пэр Франции, член французской академии, французского института, комиссии долгот и всех академий и учёных обществ Европы, родился в Бомоне на Оже, от простого крестьянина, 28 марта 1749 г., умер 5 марта 1827 г.

I и II томы его «Небесной механики» были изданы в 1799 г., III том — в 1802 г., IV — в 1805; книги XI и XII, принадлежащие к V тому, явились в свет в 1823 г., XIII, XIV, XV — в 1825 г. и XVI — в 1826 г. Наконец, первое издание «Теории вероятностей» вышло в 1812 г.» (Араго). Действительно, Лаплас — это прежде всего автор «Небесной механики». В ней он развивает свои замечательные исследования устойчивости солнечной системы, объясняет неравенства Луны, Юпитера и Сатурна, даёт теорию колец Сатурна, теорию приливов и отливов, теорию потенциала, теорию капиллярности. Мы уже говорили выше, что своими исследованиями Лаплас «спасал» ньютоновскую систему мира, утверждал её устойчивость, неизбежность. И вместе с тем Лаплас, как было отмечено, был автором — вслед за Кантом — одной из первых космогонических гипотез. Космогоническая гипотеза Лапласа была изложена им в вышедшем в 1796 г. сочинении «Изложение системы мира». Отход Лапласа от Ньютона объяснялся многими причинами. Лаплас работал в эпоху революции, в эпоху торжества механического материализма, ревностным адептом которого он был сам. Объяснить мир, не привлекая сверхъестественных сил, не нуждаясь в «гипотезе бога», такая задача вполне соответствовала и духу времени и мировоззрению Лапласа.

Исследование вселенной, теоретическое и практическое, необычайно углубилось со времен Ньютона. Стоит только упомянуть исследования знаменитого английского астронома Вильяма Гершеля (15 ноября 1738 г. — 23 августа 1822 г.). Зеркальные телескопы Гершеля, и в особенности мощный 40-футовый рефлектор, доставил новый материал о строении вселенной. 13 марта 1781 г. Гершель открывает новое блуждающее светило.



Лаплас.

Лаплас доказал, что это светило представляет собой планету, и вычислил её орбиту. Эта новая планета, первоначально названная Гершелем звездой Георгией, получила название Урана. Затем Ольберс открывает новую малую планету (Цереру)¹, после чего последовал ряд открытий малых планет (Паллады, Юноны и Весты). Эти планеты, по предложению Гершеля, получили название астероидов. Гершелем были открыты два новых спутника Юпитера и шесть спутников Урана. Так расширились сведения о солнечной системе. Но Гершелю удалось сделать и больше: он открыл движение солнечной системы к созвездию Геркулеса, открыл строение галактики, движения двойных звёзд, туманности. На базе этого нового научного материала идеи о множественности миров, об их развитии и восстановлении могли уже стать предметом научной разработки.



Гершель.

Лаплас отправляется от факта существования туманностей и притом в различных состояниях разрежения. Гершель открыл чрезвычайно разреженные туманности, туманности с уплотнёнными ядрами и светящуюся разреженную атмосферу вокруг некоторых звёзд. Одновременное пространственное существование различного типа туманностей наводило на мысль о временной их эволюции. Исследования Лапласа по устойчивости солнечной системы показали ему, что эта устойчивость вытекает из начальных условий, а именно: общее направление обращения планет («прямое», с запада на восток),

малое взаимное наклонение орбит, и из закона тяготения. Лаплас ставит своей задачей вывести эти начальные условия из более простых и общих. Начальное вращение центральной туманности и закон тяготения в соединении с отталкивательной силой тепла, по мнению Лапласа, дают возможность вывода этих условий. Вот как выглядит космогоническая гипотеза Лапласа в изложении Араго:

«По Лапласу, Солнце в отдалённое время было центральным ядром огромной туманности, имевшей весьма высокую температуру и простиравшуюся далеко за пределы нынешней солнечной системы.

Солнечная туманность имела вращательное движение от запада к востоку. Охлаждаясь, она постепенно сжималась, и скорость её обращения увеличивалась. Если вещество туманности, соответствующее экватору вращения, первоначально простиралось до того предела, где центральная сила находилась в равновесии с притяжением ядра, то частицы его, сжимаясь, должны были отделиться от общей массы и образовывать экваториальный пояс или кольцо, начавшее обращаться отдельно и с первоначальной скоростью... подобные отделения образовывались в различные эпохи, т. е. в различных расстояниях от ядра, и произвели отдельные кольца, лежащие почти в одной и той же плоскости, но имевшие различные вращения.

... Эти кольца могли оставаться без изменения только при невероятно правильном их составе; так что они по необходимости разрывались на части, которые получили движение по направлению общего вращения и которые по причине своей жидкости принимали сферические формы.

¹ Впервые замеченную Пьяцци.

Ежели захотим теперь объяснить, почему одна из сфер притянула к себе прочие сферы кольца, то стоит только предположить, что её масса была более масс всех этих сфер.

В каждой из образованных по этой гипотезе планет, находящихся в парообразном состоянии, можно предположить центральное ядро, постепенно увеличивающееся в массе и объёме и окружённое атмосферой, на пределах которой происходили те же самые явления, которые происходили на пределах общей солнечной туманности. Вот гипотетическое происхождение спутников и кольца около Сатурпа.

Хотя уже при жизни Лапласа были найдены факты, противоречащие этой гипотезе (обратное вращение спутников Урана, открытое Гершелем), эта гипотеза была первой космогонической гипотезой, базирующейся на современном ей состоянии науки, и в этом отношении далеко оставляла за собой гипотезу Канта (1755 г. «Всеобщая история и теория неба»), не имевшей такого обоснования. Со времени Лапласа наука узнала много нового и в частности открыла громадную роль сил немеханического характера, и Канта-Лапласовская гипотеза стала исторически пройденным этапом. Но именно как такой этап она сыграла огромную роль в эволюции нашего мировоззрения.

Закон тяготения выявляется в исследованиях и воззрениях Лапласа, как точный и всеобщий закон природы. Лаплас высказывает предположение, что этот закон проявляется и в молекулярных взаимодействиях. По этому поводу он высказывается в «Изложении системы мира» следующим образом:

«Между телами ничтожно малой величины притягательная сила исчезает, но между *элементами* тел она снова появляется в бесконечном разнообразии форм... Но тождественны ли в действительности эти силы (плотность, кристаллизация, химическое средство) с наблюдаемым в небесных пространствах тяготением, и действительно ли они представляют на земле некоторые модификации тяготения? Чтобы принять такую гипотезу, следовало бы допустить, что тела содержат в себе гораздо больше пустого пространства, чем заполненного, так что *плотность их частиц была бы несравненно больше средней плотности их масс...*».

Уместно вспомнить современные данные о плотности материи в ядрах, чтобы оценить это предвидение Лапласа. Лаплас не находит ничего невероятного в таком предположении о рыхлости макротел, наоборот, считает, что факты прозрачности тел (ломоносовский пример алмаза!) чрезвычайно приближают такое предположение. В таком случае космическая туманность является своего рода светящимся телом. Разнообразие сил сродства может быть таким образом сведено к разнообразию форм притягивающихся частиц, и многообразием таких форм можно было бы объяснить все различия притягательных сил, *сводя, таким образом, все явления физики и астрономии к одному общему закону.*

Когда опыты установят форму такого закона, «тогда путём применения математического анализа физика земных тел может быть доведена до той степени совершенства, какого достигла физика неба благодаря открытию закона всеобщего тяготения».

Свои соображения о возможности математической теории частичных сил Лаплас подтвердил своей теорией капиллярности. Развивая мысль о молекулярных силах как силах тяготения, Лаплас считает, что капиллярные силы обусловлены взаимным сцеплением частиц жидкости и их прилипанием к стенке. Соотношением этих сил определяется форма *краевого угла*, который, таким образом, для данной стенки и жидкости должен сохранять вполне определённое постоянное значение. Это обстоятельство дает возможность Лапласу построить формальную теорию капиллярных явлений, и именно вывести известную формулу (Лапласа) для избыточного давления над искривлённой поверхностью и установить зависимость вы-

соты поднятия от диаметра трубок. Эта теория, развитая Лапласом в ряде статей, была изложена им в IV томе «Небесной механики». Очевидно, что таким образом автор подчёркивал мысль о единстве космических и молекулярных сил.

Взгляд Лапласа, что тяготение является универсальным принципом природы, конечно, ярче всего характеризует его льютоnianство. Но ведь и сам автор принципа тяготения не исключал возможности его будущего «объяснения». Как смотрел на такую возможность Лаплас? Как раз в период разработки автором «Небесной механики» её основных идей в 1784 г. вышло замечательное произведение женеваца Л е с а ж а (13 июня 1724 г. — 9 ноября 1803 г.) «Ньютонизированный Лукреций», в котором Лесааж делает попытку применения древней атомистики к ньютоновской физике. Речь идёт о *выводе* из атомической концепции закона тяготения. Лесааж исходит из представления о бесконечных потоках атомов особой материи, пересекающих всё мировое пространство во всевозможных направлениях. Отдельное тело в таком пространстве, подвергаясь ударам со всех сторон, оставалось бы в безразличном равновесии. Если же имеются два тела, то они будут, так сказать, заслонять обращённые друг к другу стороны от встречных потоков и вследствие некомпенсированных ударов будут взаимно притягиваться. Ясно, что чем дальше тела удалены друг от друга, тем меньше будет доля общего атомного потока, падающая на внешнюю поверхность тела и вызывающая притяжение. Она очевидно, будет *обратно пропорциональна квадрату расстояния между телами*. Далее, атомные потоки, вызывающие удары, влекущие данное тело к центральному, действуя во всех направлениях, влекут тело к отдельным частям центрального тела, и сила притяжения будет пропорциональна числу частей притягивающего тела, т. е. *пропорциональна его массе*. Закон действия и противодействия получается автоматически, а если допустить большую скорость движения атомов, то получается и принцип суперпозиции Галилея. В самом деле, действие ударяющихся частиц на движущееся тело должно быть слабее, чем действие на неподвижное, но если предположить, например, что атомы движутся со скоростью света, то относительная скорость атомов для тела, падающего 1 секунду, будет только на $\frac{1}{3 \cdot 10^7}$ отличаться от относительной скорости для неподвижного тела, т. е. на совершенно неощутимую величину. Это и приводит к принципу суперпозиции Галилея и к линейному закону скорости падения. Лесааж объясняет далее и то обстоятельство, что небесные светила движутся в пространстве без осязательного сопротивления, хотя, по его теории, они движутся сквозь потоки быстрых атомов. Дело в том, что сила тяготения, управляющая движением небесных светил и обусловленная ударами атомов, будет пропорциональна живой силе этих частиц, т. е. квадрату их скорости. Что же касается силы сопротивления, которая, очевидно, определяется слагающей скорости по направлению движения, то она будет пропорциональна разности квадратов *относительных* скоростей переднего и заднего атомных потоков, т. е. пропорциональна $(c + v)^2 - (c - v)^2 = 4cv$, где c — скорость атомов по направлению движения тела, v — скорость тела. Таким образом, эта сила пропорциональна скорости c , и её отношение к силе тяготения будет порядка c^{-1} , т. е. ничтожно малой величиной.

Теория Лесаажа приводит к выводу о конечной скорости распространения тяготения. Лаплас,⁸ разбирая физическую сущность принципа тяготения, остаивается и на этой возможности. Из установившегося состояния солнечной системы эту скорость, разумеется, определить нельзя, её можно только обнаружить при изменениях.

Предполагая, что неравенства в движении Луны имеют своим источником конечную скорость тяготения, Лаплас вычисляет, что для совпадения ожидаемого эффекта с наблюдением приходится предположить огромную скорость распространения тяготения, в десятки миллионов раз превосходящую скорость света. «Притяжение доходит до крайних пределов нашей солнечной системы в почти неделимое по ничтожности своей мгновение». Ясно, что этот вывод трудно согласовать с теорией Лесажа, и Лаплас считает, что следует оставить всякую надежду получить ответ на вопрос: представляет ли начало тяготения «первичный естественный закон, или же оно есть только всеобщее действие неизвестной причины». Следует работать с законом тяготения, как с определённым принципом в духе Ньютона.

Лаплас, разрабатывая математически теорию тяготения, вводит важную функцию V . Рассматривая действие притягивающей массы на внешнюю точку, он находит для этой функции знаменитое уравнение (Лапласа):

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0.$$

Следует, однако, отметить, что это уравнение раньше Лапласа было получено Лагранжем, который пользовался вместо обозначения V обозначением Ω , а ещё раньше Эйлером в его гидродинамике (см. гл. IX). Однако в науке прочно укоренилось название «уравнение Лапласа», и это уравнение играет важную роль в теории ньютоновского потенциала и электростатике. Дальнейшая разработка математических основ электростатики и магнетостатики принадлежит Пуассону, Гауссу Остроградскому и Грину. В руках названных учёных эта область превратилась в главу математической физики. Успехи в этом направлении отчётливо сказались в последующем периоде, при рассмотрении которого мы на них и остановимся. В рассматриваемый же сейчас период доминирующую роль в развитии учения об электрических и магнитных явлениях сыграло открытие новых фактов. К изложению истории этих открытий мы и обращаемся.

Открытия Гальвани и Вольта. Принято думать, что сделавшие эпоху в развитии учения об электричестве открытия Гальвани были плодом случая. Вероятно, такое мнение основано на начальных словах трактата Гальвани: «Я разрезал и препарировал лягушку... и, имея в виду совершенно другое, поместил её на стол, на котором находилась электрическая машина... Один из моих помощников остриём скальпеля случайно очень легко коснулся внутренних бедренных нервов этой лягушки... Другой заметил... что это удаётся тогда, когда из кондуктора машины извлекается искра... Удивленный новым явлением, он тотчас же обратил на него моё внимание, хотя я замышлял совсем другое и был поглощён своими мыслями».

Однако случайность открытия была очень незначительной, тот же Гальвани или кто-либо другой непременно пришли бы к открытию явления. Не случайно у Гальвани стояла электрическая машина, так же как и не случайным было то, что он задумал какой-то эксперимент с препаратом. Несомненно, что идеи французских материалистов о материальности психических процессов толкали научную мысль на раскрытие в первую очередь физической природы ощущения, а успехи, достигнутые физиологами, микроскопистами и химиками в понимании таких важных жизненных процессов, как кровообращение, пищеварение, дыхание, стимулировали такие поиски. Изучение электрических явлений, уже сведшее с высот на землю гром и молнию, дало материал для вывода о важной роли электричества в биологии. Сокращение мышц при электрическом разряде («эле-

электрический удар») приближало мысль, что и в поведении электрических скачков, угрей, сомов мы имеем дело также с электрическим ударом. И, действительно, опыты Джона Уолша (Walsh) и Ларошели доказали электрическую природу удара скачка, а анатом Гунтер дал точное описание электрического органа этого животного. Исследования Уолша и Гунтера были опубликованы в «Phil. Trans.» в 1773 г. Случайное открытие философа З у л ь ц е р а в 1752 г., что прикосновение к кончику языка двух разнородных металлов вызывает своеобразное кислое вкусовое ощущение, было им описано, ибо автор чувствовал научный интерес этого открытия в эпоху изучения действия физических раздражителей. В числе этих физических раздражителей первое место занимало электричество, и практическая медицина возлагала большие надежды на электрические методы лечения.

О степени интереса к электрическим методам лечения можно судить, например, по письму М а р а т а к Руму де Сен-Лорен от 9 ноября 1783 г., в котором он сообщает о своих физических исследованиях и об отношении к ним академии. Из письма и приложенных к нему документов, между прочим, видно, что врач и физик Марат, будущий знаменитый «друг народа», с успехом применял физические методы лечения и разработал интересную методику экспериментального исследования природы огня, света и электричества. Опыты Марата привлекали большое внимание, в том числе и таких деятелей, как Франклин. Специально по вопросу об электромедицине Марат говорит в этом письме о своём намерении «заняться электричеством в области медицины, наукой которая так *сильно интересует общество*». Критикуя премированную работу аббата Бертелона, который «выдаёт электризацию за универсальное средство от всех болезней», Марат сообщает о своей работе, получившей премию Руанской академии, предложившей конкурсную тему: «Определить степень и условия, при которых можно рассчитывать на электричество в лечении болезней». Как видим, интерес к электромедицине в эпоху Гальвани был значительным.

Письмо Марата, в котором он обвиняет академию в невнимании к его научным заслугам, интересно и с другим отношением. Разработанная Маратом методика наблюдений в тёмной комнате позволила, по его утверждению, видеть материю огня и электричества, наблюдать дифракцию у краёв призм. Эти идеи Марата — несомненный отзвук увлечения различными «флюидами», в том числе и психическими флюидами. Академия, не нашедшая возможным проверить опыты Марата, оказалась вынужденной образовать авторитетную комиссию для проверки опытов заведомого шарлатана Месмера. Месмер, прибывший в Париж в 1771 г., ловко использовал модные научные теории об огненных, электрических, магнитных и других флюидах и утверждал, что им открыт новый вид тонкого агента — «животный магнетизм». «Животный магнетизм, — говорил Месмер, — может скопиться, концентрироваться и перепослаться без помощи тел посредствующих; он отражается, как свет...». Само собой разумеется, что «животный магнетизм есть универсальное лекарство и спаситель человеческого рода». Месмер имел большой успех, его поклонники собирали ему огромные суммы денег, преследовали противников месмеризма вплоть до нападения на Бертолле; король предлагал ему пожизненную пенсию в 20 тысяч франков за раскрытие секрета.

После его отъезда из Франции была образована правительственная комиссия в составе четырёх медиков и академиков — Леруа, Бори, Лавуазье и Балли. Балли представил доклад комиссии в августе 1784 г. Этот доклад вызвал протесты и возражения со стороны месмеристов, так как комиссия после тщательного анализа фактов пришла к выводу, что постоянного агента не существует и что случаи извлечения им нервных трансов

имеют своим источником воображение. Вообще говоря, в допесении комиссии не говорится о невозможности животного магнетизма, такая гипотеза не противоречила научным воззрениям того времени, но она не обнаружила неизменного действия в проверенных ею фактах, а потому и констатировала отсутствие физического агента в этих фактах.

Таким образом, ко времени начала опытов Гальвани (1786) не было недостатка в попытках физической трактовки психических и физиологических явлений. Практическая медицина сделала свои выводы из успехов естествознания и из научных воззрений эпохи, почва для возникновения учения о животном электричестве была вполне подготовлена.

Нет ничего удивительного в том, что профессор анатомии и медицины Болонского университета Луиджи Гальвани (родился 19 сентября 1737 г., умер 4 декабря 1798 г.) был необычайно поражён наблюдением, сделанным его сотрудниками, с описания которого начинается его знаменитый трактат «О силах электричества при мышечном движении». Как справедливо указал впоследствии Вольт, в самом факте вздрагивания лапки препарированной лягушки при электрическом разряде с физической точки зрения не было ничего нового: это явление электрической индукции а именно явление так называемого возвратного удара, разобранного Магоном в 1779 г. Но Гальвани подошёл к факту не как физик, а как физиолог, его заинтересовала способность мёртвого препарата проявлять жизненные сокращения под влиянием электричества.

Он с величайшим терпением и искусством исследовал эту способность, изучая её локализацию в препарате, условия возбудимости, действие различных форм электричества и в частности атмосферного электричества. Классические опыты Гальвани сделали его отцом электрофизиологии, значение которой в наше время трудно переоценить. Но Гальвани во время исследования действия атмосферы на препарат пришёл к замечательному открытию. Тщетно ожидая сокращения мышц в ясную погоду, он, «утомлённый... тщетным ожиданием... начал прижимать медные крючки, воткнутые в спинной мозг, к железной решетке»¹... «Хотя я, — говорит он далее, — нередко наблюдал сокращения, но ни одно не соответствовало перемене в состоянии атмосферы и электричества... Когда же я перенёс животное в закрытую комнату, поместил на железной пластине и стал прижимать к ней проведённый через спинной мозг крючок, то появились такие же сокращения, такие же движения». Отсюда Гальвани, осуществив ряд экспериментов, приходит к выводу о существовании нового источника и нового вида электричества. Его приводят к такому выводу опыты составления замкнутой цепи из проводящих тел и металлов и лягушечного препарата. Особенно эффектен следующий опыт: «если держать висющую лягушку пальцами за одну лапку так, чтобы крючок, проходящий через спинной мозг, касался бы какой-нибудь серебряной пластинки, а другая лапка свободно могла бы касаться той же пластинки, то как только эта лапка касается указанной пластинки, мышцы начинают немедленно сокращаться. При этом лапка встает и поднимается и затем, вновь упав на пластинку, вместе с тем приходит в соприкосновение с последней, снова по той же причине, поднимается вверх, и, таким образом, продолжает далее попеременно подниматься и падать, так что эта лапка, к несомному восхищению и радости наблюдающего за ней, начинает, кажется, соперничать с каким-то электрическим маятником».

¹ В первоначальном рассказе Гальвани (см. Розенбергер, II) упоминание о медных крючках отсутствует и появилось позднее в его трактате, откуда и цитируется приведенная нами выдержка.

В такой сложной форме был открыт новый источник электричества, создающий в проводящей замкнутой цепи длительный разряд. Естественно, что физиолог Гальвани не мог допустить и мысли, что причина явления кроется в контакте разнородных металлов, и предложил, что мышца является своеобразной батареей лейденских банок, непрерывно возбуждаемой действием мозга, которое передаётся по нервам.

Теория животного электричества подводила базу под практическую электромедицину, и открытие Гальвани произвело сенсацию. В числе ревностных адептов новой теории оказался и знаменитый Вольта, не замедливший приступить к проверке и к тщательному количественному исследованию явления. Это исследование он предпринял во всеоружии современной ему электрометрической техники. В первых своих статьях («О животном электричестве», письмо доктору Баронно от 3 апреля 1792 г., и двух статьях «О животном электричестве», напечатанных в «Физико-медицинском журнале» Брунвелли) Вольта разделяет точку зрения Гальвани. Однако уже здесь намечается будущий отход от этой теории, выдвигаются на первый план физические моменты эффекта. Прежде всего Вольта устанавливает, что соответствующим образом «препарированная лягушка представляет, если можно так выразиться, *животный электрометр*, несравненно более чувствительный, чем всякий другой самый чувствительный электрометр».

Затем Вольта устанавливает важность *контакта разнородных металлов*. «Такое различие металлов безусловно необходимо; если же обе обкладки из одного и того же металла, то следует, чтобы они отличались, по крайней мере, по способу их приложения...» (т. е. по состоянию контактной поверхности). Далее Вольта показывает, что ток электрического флюида обусловлен контактом разнородных металлов и может производить не только мышечные сокращения, но и другие раздражения нервов. В частности Вольта повторяет опыт Зальцера (не зная пока, что этот опыт был уже осуществлён) и обращает внимание, «что этот вкус продолжает ощущаться и даже усиливается в продолжение всего времени, пока эти два металла, олово и серебро, остаются приложенными один к кончику языка, другой к другим частям последнего и пока они соприкасаются друг с другом, составляя некоторую проводящую дугу. *Это доказывает, что переход электрического флюида с одного места на другое совершается постоянно и непрерывно*». Наконец, Вольта устанавливает *полярность* эффекта: перемена обкладок местами вызывает изменение вкуса с кислого на щелочной. В свете этих фактов теория мышечной лейденской банки Вольта представляется несостоятельной.

В последующих статьях: «Описание открытий Гальвани» (два письма к члену Королевского общества — Кавалло), «Третья статья о животном электричестве» (письмо к проф. Альдини — племяннику Гальвани) и «Новая статья о животном электричестве» (три письма к Вассали — профессору Туринского университета), Вольта полностью порывает с теорией животного электричества и даёт физическую трактовку эффекта. Во втором письме к Кавалло Вольта пишет: «... я открыл новый весьма замечательный закон, который относится собственно не к животному электричеству, а к *обычному электричеству*, так как этот переход электрического флюида, переход, который не является моментальным, каким был бы разряд, но *постоянным* и продолжающимся всё время, пока сохраняется сообщение между обеими обкладками, имеет место независимо от того, наложена ли эта обкладка на живое или мёртвое животное вещество, или на другие *не металлические, но достаточно хорошие проводники, как, например, на воду или на смоченные ею тела*». А первое письмо к Вассали (от 10 фев-

раля 1794 г.) Вольта прямо начинает вопросом: «Что вы думаете о так называемом животном электричестве? Что касается меня, то я давно убеждён, что всё действие возникает первоначально вследствие прикосновения металлов к какому-нибудь влажному телу или самой воде».

Физиологические раздражения нервов являются результатом проходящего тока, и эти раздражения «тем сильнее, чем дальше отстоят друг от друга применённые два металла в том ряду, в каком они поставлены нами здесь: цинк, оловянная фольга, обыкновенное олово в пластинках, свинец, железо, латунь и различного качества бронза, медь, платина, золото, серебро, ртуть, графит. Этот знаменитый ряд напряжений Вольта и открытый им закон напряжений составляют ядро всего эффекта. Животные органы, по Вольта, «являются чисто пассивными, простыми, очень чувствительными электрометрами, и активны не они, а металлы, т. е. что от соприкосновения последних и происходит первоначальный толчок электрического флюида, одним словом, что такие металлы не простые проводники или передатчики электричества...». В одном из примечаний к этой статье Вольта вновь подчёркивает, что к идее о контактном напряжении он пришёл уже более



Вольта.

тока, но настоящие двигатели трёх лет тому назад и уже в 1793 г. дал свой ряд металлов.

Таким образом, суть эффекта заключается, по мнению Вольта, в свойстве проводников «вызывать и приводить в движение электрический флюид там, где несколько таких проводников разного класса и сорта встречаются и соприкасаются между собою».

«Отсюда и получается, что если из них три и больше, и притом различные, составляют вместе проводящую цепь, если, например, между двумя металлами — серебром и железом,

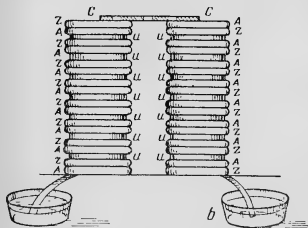


Рис. 186—187. Вольтов столб.

свинцом и латунью, серебром и цинком и т. д. — ввести один или более проводников, именно из того класса, который назван классом влажных проводников, так как они представляют жидкую массу или содержат некоторую влагу (к ним причисляются животные тела и все их свежие и сочные части), если, говоря я, проводник этого второго класса находится в середине и соприкасается с двумя проводниками первого класса из двух различных металлов, то вследствие этого возникает постоянный электрический ток того или иного направления, смотря по тому, с какой из

сторон действие на него оказывается сильнее в результате такого соприкосновения».

Так ясно и чётко Вольта сформулировал условия возникновения постоянного тока: наличие замкнутой цепи из различных проводников, причём по крайней мере один должен быть проводником второго класса и соприкасаться с различными проводниками первого класса. Когда гальванисты возражали опытами, в которых мышечные движения возбуждались дугой из однородного проводника и даже, как в опытах Вальи, соприкосновениями различных препаратов без металлического проводника, то Вольта указывал, что и в этих опытах имеется неоднородность. Концы одной проводящей дуги различны, осуществить их полную однородность почти невозможно, контактная разность может возникнуть и при соприкосновении различных проводников второго класса.



Гемфри Дэви.

«... Неметаллические проводники, проводники жидкие или содержащие в себе в той или иной мере влагу, те, которые мы называем проводниками второго класса, и они одни, сочетаясь друг с другом, будут являться *возбудителями*, как металлы, или проводники первого класса в сочетании с проводниками второго класса...».

В дальнейшем Вольта в целях устранения всяких сомнений в не физиологической, а чисто физической сути дела исключает животные препараты, служившие до тех пор индикаторами тока. Он разрабатывает методику измерений контактных разностей потенциалов своим конденсаторным электрометром. Об этих классических опытах Вольта сообщает в письме к Грену в 1795 г. и Альдини в 1798 г.

20 марта 1800 г. Вольта написал свое знаменитое письмо Бенкесу с описанием своего столба — изобретения, произведшего подлинную революцию в науке об электричестве. В письме к Барту от 29 августа 1801 г. Вольта сообщает о найденном им законе напряжения для проводников первого класса $[A/B + B/C = A/C]$. 7 и 21 ноября 1801 г. в Париже он прочитал две лекции о своем столбе и законе напряжений. Первое сообщение об этих лекциях было опубликовано Пфаффом в IX томе гильбертовских «Анналов» за 1801 г., второе — Био в X томе тех же «Анналов». Так завершилась история выдающегося открытия и вместе с тем история научной деятельности Гальвани и Вольта¹.

¹ Александр Вольта родился в Комо 19 февраля 1745 г. Уже с 18 лет ведёт переписку с Вольте по вопросам физики, на девятнадцатом году написал латинскую поэму о современных физико-химических открытиях. Первая работа 1764 г. посвящена лейденской банке, следующая работа 1771 г. — «Эмпирические исследования способов возбуждения электричества и улучшения конструкции машины». С 1774 г. — преподаватель физики в Комо. В 1777 г. изобретает электрофор, затем конденсатор и электрофор с конденсатором. Запаваясь исследованием горючего газа, изобретает

Природа открытого эффекта была очень сложна, и при тогдашнем уровне физико-химических наук и физиологии раскрыть картину явления было невозможно. В споре о природе явления по существу оказались правы обе стороны. Гальвани стал основоположником электрофизиологии, а Вольта — основоположником учения об электричестве. В лабиринте противоречивых опытов и наблюдений Вольта нащупал правильный путь, нашёл опытный физический закон напряжений, дал правильное описание цепи электрического тока. Впереди ещё предстояли большие споры по вопросу о причине и природе контактной разности потенциалов, но в её существовании уже сомнений не оставалось, а в вольтовом столбе наука получила мощное орудие исследования, которым она и не замедлила воспользоваться.

Первые успехи гальванизма.

Триумфальное шествие вольтова столба началось ещё до того, как появилось о нём печатное сообщение. Бенкс, получив письмо Вольта, показал его своему другу Карлейлю (1768—1840). Карлейль совместно с Никольсоном построили столб из 17 элементов и осуществили разложение воды током. Опыт с разложением воды был повторен и усовершенствован Дэви в Англии, Риттером в Германии и Петровым в России. Дэви, собирая отдельно газы, выделявшиеся при разложении, сконструировал первый вольтметр.

В трубки А и В (рис. 188), запаянные сверху, были введены золотые проволочки, соединявшиеся с полюсами сооруженной им большой батареи¹, трубки погружались открытыми концами в сосуд с водой. Дэви удалось доказать, что водорода выделяется вдвое больший объем, чем кислорода.

Риттер (1776—1810) осуществил электролиз не только воды, но и других жидкостей, в частности выделял медь из раствора медного купороса. Разложением солей занимался Крюикшенеп, который показал, что металлы собираются на катоде, кислоты на аноде. В 1802 г. преподаватель музыки в Париже Готро заметил резкое вкусовое ощущение от золотых листочков, погруженных в воду и присоединённых к полюсам вольтова столба после того, как ток был пропущен через воду и листочки отсоединялись от полюсов. Опыт Готро повторил Риттер, показавший, что полярность листочков переменялась, т. е. что вкус от листочка, соединённого с положительным полюсом батареи, будет щелочным, а не кислым. Риттер получил далее сторичный вольты столб из сорока медных

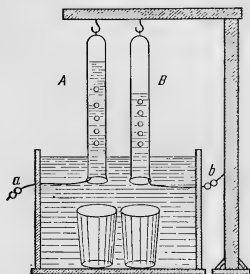


Рис. 188. Вольтметр Дэви.

электрический пистолет, водородную лампу, вдиометр. С 1777 г. — профессор физики в Павии. В 1793 г. занимается опытами по расширению газов. В восьмидесятых годах изобретает пламенный зонд. За изобретение столба получил награду от Наполеона, был избран членом Института. После своего знаменитого изобретения отошёл от научной работы и только в 1817 г. опубликовал два исследования о граде и о периодичности гроз. В 1819 г. оставил профессорскую кафедру. Умер 5 марта 1827 г. в один день с Лапласом.

¹ Отделоском первых опытов Гальвани был у Дэви способ соединения проволочек с полюсами посредством свежих мышечных волокон.

кружков, разделённых влажными кружками, который заряжался от батареи, состоящей из 100 элементов. Вольт объяснил действие этих вторичных источников, показав, что разность потенциалов обусловлена разложением воды и выделением на катоде водорода и на аноде кислорода. Этим объяснением вопрос был исчерпан, и вторичные элементы, или аккумуляторы, открытые вскоре после вольтова столба, были забыты.

Наиболее существенные и интересные результаты были получены знаменитым английским химиком Дэви. Гемфри Дэви (Humphry Davy) родился 17 декабря 1778 г. в семье резчика по дереву. После смерти отца он поступил в ученики к врачу и по обязанности должен был помогать ему в приготовлении лекарств. В этом занятии и обнаружился его химические способности. Он с увлечением отдавался химическим экспериментам, изготовлял краски, производил далеко не безопасные опыты со взрывчатыми веществами.

Химические дарования Дэви, замеченные его друзьями, дали ему возможность поступить к доктору Бедо (Bedoes), открывшему Целебный институт. Здесь Дэви приобрёл большую популярность в связи с открытыми им свойствами закиси азота («веселящий газ»). Поэтому, когда в 1801 г. Румфорд организовал так называемый Королевский институт в Лондоне с целью развития естественных наук, то ему рекомендовали в качестве профессора химии Дэви. В институте Дэви прославился как блестящий лектор. Его лекции слушал молодой перешлёпчик Михаил Фарадей, что, как известно, решило судьбу будущего великого учёного. Занятия Дэви гальванизмом привели его к важным открытиям в электрохимии, изложенным в двух знаменитых Бекеровских лекциях в 1806 и 1807 гг.

В первой лекции Дэви разбивает господствовавшее тогда воззрение, что при электролизе чистой воды на одном полюсе получается кислота, на другом — основание. Он показывает, что кислоты и основания являются продуктами вторичных реакций. Дэви развивает здесь теорию движения ионов и электрическую теорию химического средства.

Во второй лекции излагаются опыты Дэви по электролизу едкого калия и натрия, приведшие его к открытию щелочных металлов калия и натрия. Эти знаменитые открытия Дэви создали ему славу величайшего химика Европы. Дэви получает в 1812 г. титул баронета, женится на богатой вдове, отказывается от службы в институте, чтобы перейти на «независимый» образ жизни, т. е. сделаться рабом света и поставить себя в зависимость от причуд своей жены. В 1813—1815 гг. Дэви с женой в сопровождении Фарадея путешествует по Европе. По возвращении из Европы по заказу рудничных компаний изобретает безопасную лампу для угольных, и это изобретение умножило славу Дэви.

Однако творческие силы Дэви были уже истощены, а светский образ жизни всё более и более удалял его от науки. Здоровье Дэви также серьёзно ухудшилось; он предпринял поездку на юг Европы и во время путешествия 28 мая 1829 г. скончался.

Уже Никольсон показал со столбом, составленным из 100 монет, возможность получения электрической искры, которую ему удалось наблюдать в темноте. Искры наблюдали Крюкшвенен, Симон, Риттер, Дэви, Фуркруа и другие. Симон, Шфафф и Марум обнаружили нагревание проводов током. Дэви расплавил током железную проволоку. Эти сильные действия Дэви получил с построенной им батареей из 2000 элементов. Эта же батарея дала ему возможность получить вольтову дугу и, по сравнению с этим эффектом, как пишет Розенбергер в истории физики, померкли «все эти световые и тепловые действия тока». Но Розенбергер не знал,

что уже за несколько лет до Дэви такие опыты были осуществлены в Петербурге профессором медико-хирургической академии, а впоследствии академиком Василием Владимировичем Петровым.

Академик В. В. Петров родился 8 июля 1761 г. в семье священника в г. Обоих Курской губ. Учился он сначала в Харькове, а затем в Петербурге в Учительской гимназии. После трёхлетнего пребывания в гимназии Петрова направляют в 1788 г. в Барнаулу в Колывано-Воскресенскую школу учителем математики и физики. Таким образом, педагогическая деятельность Петрова началась в тех местах, где за четверть века до него разрабатывал свою замечательную идею И. И. Ползунов.

В 1791 г. Петров возвращается в Петербург и работает преподавателем физики сначала в Инженерном кадетском училище, затем во Врачебном училище. В 1795 г. училище было преобразовано в Медико-хирургическую академию, и В. В. Петров после пробной лекции был зачислен экстраординарным профессором. С этого времени началась напряжённая научная педагогическая и научно-организационная работа Петрова. Уже в первых работах Петров выступает как передовой учёный эпохи, осведомлённый об актуальных научных проблемах современности. В вышедшей в 1801 г.

книге «Собрание физико-химических новых опытов и наблюдений» Петров рассматривает проблему горения, и многочисленными опытами защищает теорию Лавуазье, придя в результате к выводу, что «где находится кислоторный газ, или по крайней мере основание его — кислотворное вещество, соединённое с твёрдыми, жидкими или воздухообразными телами, там только и может происходить горение, при помощи такой температуры, которая способна для произведения новых простых или сложных средств (affinitates), какие могут быть между составными тел частями» (стр. 151).

При этом опыты Петрова по горению в вакууме дали ему возможность подтвердить и закон сохранения масс. «...С довольно основательностью предварительно можно заключить, что по сгорании многосложных тел в безвоздушном месте остаток и произведения их должны быть точно такого же веса, каковой имели бы оные тела до опыта: ибо где нет причины, там и действие или произведение быть не может» (стр. 152).

В этой первой работе Петрова, начатой им ещё в 1797 г., когда Петров получил выписанные им в 1795 г. из Лондона на сумму 6000 руб. «преиз-

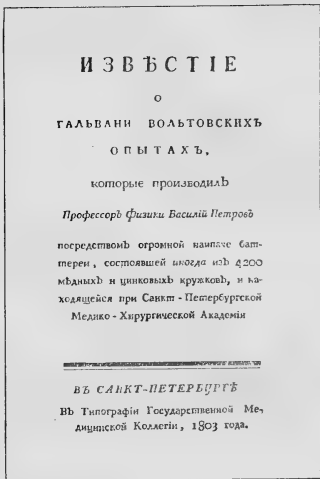


Рис. 189. Титул книги В. В. Петрова.

рядные» приборы, можно отчётливо почувствовать идейную связь Петрова с Ломоносовым. Она уже чувствуется в заглавии работы («Физико-химические опыты»), в отправлении от Б о й л я, в антифлогистической направленности, в законе сохранения масс.

Ломоносов предшествовал Лавуазье, Петров шёл по свежим следам гениального химика и был первым русским учёным, воспринявшим, развившим и пронагандировавшим идеи Лавуазье. На примере Петрова, так же как и раньше на примере Ломоносова, можно видеть несправедливость ходячей концепции о «самобытном» провинциализме передовых деятелей русской науки. Как мы видим, Петров отправляется не только от передовых научных идей своего времени, но и борется за создание высокого научного уровня экспериментальных исследований.

Он неустанно заботится о расширении физического кабинета, и вполне понятно, что он требует приобретения вольтовой батареи «послику опыты над гальванизмом ныне сделались весьма достопримечательными». Не удовлетвовавшись приобретённой в 1802 г. небольшой батареей, Петров строит новую «огромную наипаче батарею», составленную из 4200 медных и цинковых кружков. Это была, без сомнения, самая мощная батарея того времени: кружки диаметром $1\frac{1}{2}$ дюйма были расположены в специальном ящике в четырёх горизонтальных рядах по 3,4 м каждый. Петров подробно описывает технику изготовления, монтажа и ухода за батареями. Это описание, равно как и описание произведённых с его батареями опытов, составляет содержание второй работы Петрова «Известие о Гальвани-Вольтовых опытах».

В седьмой главе этой книги мы находим изложение его замечательного открытия: «Есть ли на стеклянную плитку или на скамеечку со стеклянными ножками будут положены два или три древесных угля, способные для произведения светопосных явлений посредством Гальвани-Вольтовой жидкости, и есть ли потом металлическими, изолированными направлятелями (directores), сообщёнными с обоими полюсами огромной батареи, приближать оные один к другому на расстояние от одной до трёх линий, то является между ними весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого оные угли скорее или медлительнее загораются, и от которого тёмный покой довольно ясно освещён быть может».

В этой же главе Петров описывает опыты электрической плавки металлов, сжигания различных веществ и, таким образом, опережает аналогичные опыты Дэви, описанные последним в книге «Элементы философии химии», вышедшей в 1812 г. В своих исследованиях «Гальвани-Вольтовой жидкости» Петров выступает как пионер электротехники, и не только русской, но и мировой. Он доказал это не только своим выдающимся открытием, но и решением новой и трудной технической задачи изготовления мощного источника тока.

В 1804 г. Петров публикует «Новые электрические опыты», посвящённые электризации трением металлов и других проводников. О значении этих опытов Петрова мы говорили выше, в IX главе. В соответствии с общепринятым мнением Петров различает «электрическую» и «Гальвани-Вольтовую» жидкости, но интересно, что, говоря о фактах, позволяющих провести сравнение свойств этих агентов, он указывает, что они, эти факты, «доселе ещё показывают большее или меньшее различие между Гальвани-Вольтовой и электрической жидкостями», т. е. он считает это различие временным.

Интересно отметить своеобразный параллелизм в исследованиях Дэви и Петрова. В «Новых электрических опытах» Петров описывает опыты плавления льда трением при температуре 15° . Аналогичные опыты были

произведены Дэви в 1799 г. Петров в работе 1812 г. показывает справедливость мнения Дэви о сложности едких кали и натрия, а в том же году ученик Петрова Гамель, окончивший Медико-хирургическую академию в 1811 г., докладывает конференции, что он повторил опыты Дэви по разложению окислов щелочных металлов, равно как и опыты Гей-Люссака и Тенара, получивших калий и натрий неэлектрическим способом. По если Петров был в курсе исследований Дэви, равно как и последующих исследований, то Дэви и другие европейские учёные не могли знать о работах Петрова, писавшего на русском языке.

Важно отметить, что Петров писал на русском языке *сознательно*. Он свободно владел древними и важнейшими новыми языками: немецким, французским, английским. Однако он считал необходимым познакомить прежде всего русского читателя с новыми опытами, и притом не только столичного читателя, но и провинциального.

«Поелику же, сколько мне известно, доселе никто ещё на Российском языке не издал в свет и краткого сочинения о явлениях, происходящих от Гальвани-Вольтовой жидкости, то я долгом моим поставил описать по-русийски и расположить в надлежащем порядке деланные самим мною важнейшие и любопытнейшие опыты посредством Гальвани-Вольтовой батареи. Но прежде, нежели я приступлю к описанию самых опытов, за нужное почитаю предположить оным сперва изъяснение приготовления и употребления Гальвани-Вольтовых батарей, а после и самые средства очистить составные их металлические части, с некоторыми примечаниями наипаче для пользы тех читателей, которые живут в отдалённых от обеих столиц местах и которые не имели случая приобрести нужного понятия о сих предметах».

Таким образом, Петров, продолжая великие традиции Ломоносова, выдвигает на первый план интересы просвещения широких слоёв русского народа, откуда могут «произойти многочисленные Ломоносовы».

Может быть этим объясняется и то противодействие, которое встретил Петров в Академии наук со стороны немецких учёных, в первую очередь неперемкнутого секретаря Фусса и академика по физике Л. Ю. Крафта. Деятельность Петрова в Академии наук, в которой ему пришлось вести напряжённую и самоотверженную работу по реорганизации физического кабинета, поразительно напоминает борьбу Ломоносова. Все начинания Петрова упёрлись в глухую стену недоверия и скрытого противодействия руководства Академии и Министерства просвещения. Совсем иное отношение встретил сменивший Петрова на должности зав. физическим кабинетом Академии наук академик Наррот. Большой, отставленный как от педагогической работы, так и работы в Академии, измученный физически и нравственно, Петров умер 22 июля 1834 г.

Открытиями Петрова и Дэви завершается первый круг развития гальванизма. Были открыты химические и тепловые действия тока и начаты исследования условий работы источников. Дэви, Вольта и Риттер открыли поляризацию элементов, причём Дэви показал, что причиной «утомления» элементов является выделение водорода, а Риттер и Вольта, как мы видели, открыли вторичные газовые элементы.

Было обнаружено (Риттер, Эрман), что химические действия зависят от расстояния между электродами, от свойств электролитической жидкости. Симон, Пфафф, Штериберг, Риттер и другие показали, что увеличение площади пластин батарей увеличивает силу искры и тепловые действия. Шаг за шагом готовится будущее открытие Ома. Однако в понимании сущности открытого явления было ещё много неясного. Открытие электрохимии вызвало спор о природе химических и электрических сил. Дэви и

Берцелиус считали, что химические силы имеют электрическую природу. Наоборот, Фабброни, Волластон и Барро выдвинули химическую теорию происхождения электрических контактных сил. В этом споре, в котором принял впоследствии участие и Фарадей, возникло много важных открытий и в частности зародилась будущая электрическая теория материи. Но здесь нам придётся прервать изложение развития учения об электричестве и обратиться к рассмотрению развития физики и химии газов.

Газовые законы и атомистика.

Переворот, совершённый в химии Лавуазье и его современником Бертолле, о котором нам неоднократно приходилось говорить, заключался в изгнании из химии перипатетических «начал» или «элементов» и в перебазировке химии на новом понятии химического элемента. На первый план выдвигалась задача точного химического анализа, разложение сложных соединений на составные части, поиски действительно простых, вещественных элементов. Уже упомянутые нами исследования состава воды были первым крупным шагом в этом направлении. Защитники аристотелевской концепции воды как первоначального элемента, к числу которых принадлежал и неоднократно упоминавшийся нами Риттер, пытались в электрохимических явлениях найти подтверждение своих воззрений. Сложные продукты электролиза воды они объясняли возникновением из воды кислот и щелочей под действием электричества. Это мнение было, как мы говорили выше, разбито Дэви. Дэви удалось доказать элементную природу хлора¹, который считали окислом металла. Не следует удивляться тому, что, казалось бы, такие простые химические вопросы, как сложность воды или элементарность хлора, могли вызывать сомнения. Методы качественного и количественного анализа только вырабатывались, и более удивительно, что уже в ту пору успехи в этом отношении оказались настолько значительными, что дали материалы для построения химической атомистики.

Выдающиеся химики XVIII и начала XIX в., как, например, Бертолле, считали, что состав сложных веществ может изменяться непрерывно в любых количественных отношениях входящих в них элементов. Авторитет Бертолле, знаменитого французского химика, сподвижника Монжа, активного участника создания химической оборонной промышленности революционной Франции, был очень велик. Бертолле был основателем так называемого Аркельского общества, просуществовавшего десять лет (1807—1817), в числе членов которого были Лаплас, Гей-Люссак, Гумбольдт, автором классических «Исследований о законах химического сродства» и «Химической статистики».

Тем не менее соотечественник Бертолле Пруст (Proust. 1755—1826) в 1801 г., в год выхода «Исследований» Бертолле, высказывает идею о *постоянстве состава*. Анализируя соединения олова с кислородом, он находит, что процентное содержание олова в различных окислах меняется скачком, а не непрерывно, как утверждал Бертолле, и тем самым было положено начало знаменитому спору, окончившемуся в 1808 г. победой Пруста. Несколько ранее Рихтер (1762—1807) в «Стехиометрии» провозгласил принцип числа и меры в химии и начал, правда ещё в очень туманной форме, вводить в химию понятие эквивалента.

Но подлинным основателем химической атомистики был сын ткача, школьный учитель математики и физики Джон Дальтон (5 сентября 1767 г. — 27 июля 1844 г.), за свои научные заслуги избранный иностранным членом Парижской академии. От Дальтона открывается новый

¹ Это же открытие было сделано независимо от Дэви Гей-Люссакком.

период не только в истории химии, но и в истории учения о материи вообще, период, который завершается гениальным открытием Менделеева. К своим воззрениям Дальтон приходит, отправляясь от исследований свойств паров и газов, приведших его — вместе с Гей-Люссаком — к установлению основных законов газового состояния.

Мы уже упоминали, говоря о Ломоносове, о противоречивых результатах измерений теплового расширения воздуха. С развитием пневматической химии число измерений расширения не только воздуха, но и других газов увеличилось, а вместе с тем возросли и противоречия в результатах. Знаменитый французский физик и химик Гей-Люссак (6 декабря 1778 г. — 9 мая 1850 г.) в поисках источников этих расхождений пришёл к мысли о необходимости тщательного просушивания газов.

Измерения Гей-Люссака, выполненные им с воздухом, водородом, азотом и другими газами, дали ему одно и то же значение коэффициента расширения газов, а именно 0,00375, или $\frac{1}{266,6}$. Эти опыты, которые, — говорит Гей-Люссак, — «были произведены мною с величайшей тщательностью, ясно показывают, что атмосферный воздух, кислород, водород, азот, пары азотной кислоты, аммиака, соляной, серной и угольной кислот при одинаковом повышении температуры расширяются тоже равномерно... и что все газы вообще, насколько я могу заключить, расширяются от теплоты в одинаковой степени». Гей-Люссак указывает, что за 15 лет до него Шарль пришёл к тому же выводу, но не опубликовал своих результатов. Однако Гей-Люссак не знал, что уже в 1801 г. в «Журнале Никольсона» Дальтон опубликовал результаты своих измерений с воздухом, просушенным серной кислотой, найдя $\alpha = 0,00373$, и впоследствии также пришёл к выводу об одинаковой расширяемости как газов, так и паров.

Изучение поведения паров представляло большой практический интерес, и не случайно Уатт, работая над паровой машиной, в течение ряда лет изучал упругость водяных паров как при высоких температурах с паровым котлом, так и при низких температурах с барометрическими трубками.

Дальтон, исследуя упругость паров при разных температурах, получил таблицы, вошедшие в учебник физики Бюй, таким образом, признанные наиболее надёжными. Однако Дальтон полагал, что упругость паров различных жидкостей при одной и той же температуре одинакова. С другой стороны, исследуя смеси газов и паров, не взаимодействующих между собой химически, он обнаружил замечательное свойство диффузии газов. Явление диффузии газов было открыто ещё в 1796 г. Вольта для водорода и воздуха. Дальтон производил опыты с различными газами по следующей схеме: две колбы, герметически закупоренные и сообщающиеся между собой стеклянными трубками, были заполнены различными газами и установлены вертикально одна над другой, причём в нижней колбе был более тяжёлый газ (например O_2), в верхней — более лёгкий (например H_2). Через несколько часов в колбах были смеси обоих газов. Отсюда



Дальтон.

Дальтон делает вывод, что «упругие жидкости (т. е. газы), приведенные в соприкосновение, неизменно перемешиваются между собой... более лёгкая жидкость не может оставаться отделённо над жидкостью более тяжёлой... обе они постоянно стремятся проникнуть друг в друга...». Поэтому, газ расширяется в пространстве, занятом другим газом, так, как если бы другого газа не было, и производит соответствующее *парциальное давление так, что общее давление смеси равно сумме парциальных давлений отдельных компонент*.

Дальтон не знал работ Бернулли и Ломоносова, и кинетика газов, которая так блестяще подтверждается открытиями, не выдвигалась им.

Но его внимание привлекло постоянство и неизменность в поведении таких текущих тел, как газы. Это постоянство было им обнаружено и в газообразных соединениях.

Исследуя химический состав сначала газообразных окислов, а затем углеродно-водородных групп, Дальтон впервые изучает весовые количества кислорода, приходящиеся на одно и то же весовое количество вещества (например, азота) в различных по количественному составу окислах и устанавливает *кратность* этих количеств. То же самое он заметил на углеводородных соединениях: количества водорода, приходящиеся на одно и то же весовое количество углерода в двух соединениях (C_2H_4 и CH_4), относятся как 1 : 2. Так был открыт важнейший закон химии — закон кратных отношений.

Дальтон не ограничился установлением эмпирических закономерностей, а сразу же выдвинул объяснение найденных

факторов. Удивительное постоянство химических и физических свойств вещества приводило к мысли о существовании постоянных, неизменных атомов. «Все изменения, которые мы можем производить, заключаются в разделении прежде связанных атомов и в выделении прежде разделённых атомов». Но эта старая мысль атомистов теперь опирается на твёрдые химические факты. Постоянство состава веществ объясняется полной однородностью образующих их частиц, а различие в свойствах различных элементов объясняется химической индивидуальностью их атомов.

При этом Дальтон вводит в химию важную характеристику этой индивидуальности — *атомный вес*. Закон кратных отношений находит своё объяснение в том, что один атом какого-либо вещества, например олова, соединяется с одним, двумя, тремя и т. д. атомами кислорода.

Простые вещества — химические элементы (в то время ещё не делали различия между элементом и простым веществом) — состоят из простых атомов, сложные — из сложных атомов (молекул). Для обозначения атомов Дальтон ввёл специальные значки, например, атомы водорода Дальтон обозначает значком $\odot$, кислорода $\circ$, серы $\oplus$ и т. д. Приняв атомный вес водорода за единицу, Дальтон приступил к определению атомных весов других веществ. Эта задача, конечно, была весьма неопределённой, так как точные комбинации реагирующих атомов не были



Гей-Люссак.

известны. В работе 1803 г. Дальтон находит такие значения атомных весов:

H	N	C	O	P
1	4,2	4,3	5,5	7,2.

В 1808 г. вышло основоположное произведение Дальтона: «Новая система химической философии», и здесь Дальтон даёт уже новые целочисленные значения

H	N	C	O	P
1	5	5	7	9.

В связи с этим возникла знаменитая гипотеза Проута (1815); все атомы представляют комбинацию атомов водорода и, следовательно, атомные веса должны выражаться целыми числами, если вес атома водорода принять за единицу. Но шведский химик Б е р ц е л и у с (29 августа 1779 г.— 7 августа 1848 г.), поддержавший атомную теорию Дальтона, понял важность задачи точного определения атомных весов и в 1818 г. опубликовал первую таблицу атомных весов, значения которых с точностью до целочисленных факторов, обусловленных указанной выше неопределённостью, очень близко подходят к современным данным

C	O	S	N	Cl	Cu	Pb
12,12	16,00	32,6	14,18	35,47	63,4	207,4

Целочисленность атомных весов не имеет места, и в дальнейшем развитии химии гипотеза Проута была оставлена, однако не без борьбы. Она была воскрешена только в XX в. Отметим, что Берцелиус первый ввёл современные обозначения атомов химических элементов начальными буквами их латинских названий.

Открытия и гипотеза Дальтона встретили поддержку и у Гей-Люссака. Существенную помощь в определении атомных весов сыграл опубликованный в мемуарах Аркельского общества за 1809 г. закон кратных *объёмов* для химических взаимодействий газов: «Газы, действуя друг на друга, соединяются по объёмам в простых отношениях, как, например, 1 к 1, 1 к 2 или 2 к 3».

Этот закон может быть истолкован (что и было сделано Берцелиусом, Дальтоном и Гей-Люссаком) допущением гипотезы, что в равных объёмах газов находится при одинаковых условиях равное количество частиц. Гей-Люссак воспользовался своим законом для определения плотности паров, Берцелиус — для определения относительных атомных весов. Но атомная интерпретация закона Гей-Люссака встретила возражения. Первое из них заключалось в открытой неточности Дальтона — Гей-Люссаковского закона одинакового коэффициента расширения.

Положим, что при определённой температуре t_1 и данном давлении два различных газа занимают одинаковые объёмы v_1 и v_1 и соединяются друг с другом в отношении 1 : 1, т. е. частица с частицей. Но при другой температуре t_2 их объёмы будут различными и, если число частиц не изменилось, то отношение 1 : 1 уже не будет иметь места.

Био защищает Гей-Люссака от обвинений в теоретическом истолковании его закона: «Предполагаемая простота отношений, — говорит Био, — очевидно, может существовать только в том случае, когда пренебрежём неравенством расширения газов, которое, будучи всегда нечувствительным в обыкновенных химических опытах, ограничивает закон объёмов теоретически, а не практически. *Не должно обещать Гей-Люссака в системах,*

которые хотели основать на его законе; он никогда не принимал их; гипотезы были противны его строгому уму».

Это типичное выступление ньютонианца против самой мощной и плодотворной научной системы является одним из многих аналогичных выступлений. Атомная теория, как мы увидим далее, будет яростно атаковаться сторонниками идеалистических, реакционных направлений и школ.

Другим очень важным аргументом против атомистической интерпретации Гей-Люссаковского закона были факты, найденные тем же Гей-Люссаком. Положим, что объём Н соединяется с одним объёмом Сl. Это означает, что частица Н соединяется с частицей Сl и они образуют одну частицу хлористого водорода. Если допустить, что в равных объёмах газов содержится одинаковое количество частиц (простых или сложных), то тогда д в а равных объёма Н и Сl должны дать о д и н объём НСl, но опыт показывает, что получается также д в а объёма этого вещества.

Это противоречие, как показал в 1811 г. итальянский химик А в о г а д р о (1776—1856), устраняется, если ввести гипотезу, что в равных объёмах газов при одинаковых условиях содержится равное количество молекул, отличая последние от атомов, причём молекулы одного и того же элемента могут состоять из нескольких атомов.

В данном примере гипотеза двухатомности молекул Н и Сl полностью объясняет реакцию, которая происходит по уравнению $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$. Однако Берцелиус, выдвинувший электрическую теорию химического сродства (он считал металлы электроположительными, металлоиды — электроотрицательными), не мог допустить ассоциации однородных атомов в одну молекулу. Вообще, даже сторонникам атомной теории представлялось нежелательным её усложнять, а предположение, что следует различать частицы простого вещества, казалось таким излишним усложнением. Поэтому гипотеза Авогадро не встретила поддержки, так же как и выдвинутое Ампером в 1814 г. предложение различать частицы и атомы вещества. Гипотеза Авогадро была оставлена, и её новое «издание» в 1842 г. в работе Ж е р а р а также не имело успеха. Тем не менее атомная теория в химии начала своё победное шествие.

Но исследования Дальтона и Гей-Люссака имели значение не только в химии, они были важны и в метеорологии, которая одинаково влекла обоих исследователей, и в динамике паров и газов. Интересно отметить, что метеорологические и геологические воззрения Гей-Люссака, бесстрашного естественнпытателя, поднимавшегося на аэростате, восходившего на склоны действующего Везувия, во многом совпадают с воззрениями Ломоносова.

Для развития термодинамики принципиальное значение имел опыт Гей-Люссака с расширением газа в пустоту, позднее повторенный Джоулем. Точно так же Гей-Люссак объединил свой закон с законом Бойля (Ann. Chim. et phys., 1826, т. 35, стр. 34), т. е. написал уравнение состояния газов. Эти исследования Гей-Люссака примыкают к длинной цепи открытий в области термодинамики газов и паров, важных для технических приложений и доставивших наряду с другими фактами материалы для обоснования принципов термодинамики. Охлаждение и нагревание газов при адиабатических сжатиях и разрежениях были установлены в 1788 г. Дарвином и в 1798 г. Пикте, но ещё ранее — в «Прометрии» Ламберта, вышедшей после его смерти в 1779 г., — описан опыт повышения и понижения температуры в приёмнике воздушного насоса при движении поршня.

Эти опыты были расширены Дальтоном, который в 1802 г. опубликовал свой доклад, содержащий в числе других замечательных резуль-

татов и резюме, что сгущение газов и паров сопровождается выделением тепла, а разрежение — охлаждением.

В 1803 г. лионский физик Моилле сообщил в Париж об удивительном открытии рабочего оружейного завода, зажёгшего трут в дуле духового ружья сжатием воздуха. В свете этих фактов становилось ясным, что теплоёмкость газов при постоянном давлении должна быть больше теплоёмкости при постоянном объёме.

Лаплас ещё в 1800 году заметил, что это обстоятельство должно повышать упругость воздуха, следствием чего будет увеличение скорости звука. Проанализировав вновь полученные экспериментальные данные, Лаплас в 1816 г. делает следующий вывод: «Скорость звука равна скорости её, данной ньютоновской формулой¹, помноженной на квадратный корень из отношения удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении к удельной теплоёмкости его при постоянном объёме».

Теоретическим изучением вопроса изменения температуры и плотности газа при адиабатическом процессе занимался Пуассон, показавший, что поправка в закон Бойля равна указанному отношению теплоёмкостей, почему это отношение и известно под названием коэффициента Пуассона

($k = \frac{c_p}{c_v}$). Отношение $\frac{c_p}{c_v}$ экспериментально определяли Гей-Люссак и Вельтер, давшие $k = 1,372$ (1-й том журнала Аркельского общества, 1807 г.), и позднее, в 1819 г., фабрикант Дезорм (1777—1862) и его зять профессор химии Клеман (умер в 1841 г.), разработавшие известный по студенческим практикумам метод. Они получили значение $k = 1,357$. Все эти данные были важны для обоснования первого принципа термодинамики², но в данный период истинное значение открытых фактов оставалось скрытым. Связь этих фактов с замечательными наблюдениями Дэви, Петрова и Румфорда ещё не ощущалась.

Мы уже говорили, что Дэви, а затем Петрову удалось расплавить треском лёд при температуре ниже нуля. Бенджамин Томпсон (1753—1814), эмигрировавший из Америки после победоносного завершения войны за независимость и получивший в Баварии титул графа Румфорда, опубликовал в «Phil. Trans.» за 1798 г. результаты опытов по сверлению пушечных стволов. В одном из его опытов при 960 оборотах бура температура просверливаемого цилиндра поднялась на $37^{\circ},7$ С. Когда же произ-



Румфорд.

¹ $V = \sqrt{\frac{p}{\rho}}$, где p — давление газа, ρ — его плотность.

² Важную в историческом отношении роль сыграли измерения теплоёмкости газов (c_p и c_v), предпринятые Делярошем и Бераром в 1813 г.

вели сверление цилиндра в резервуаре, содержащем 2,5 галлона воды, то за $2\frac{1}{2}$ часа вода нагрелась с $15^{\circ},6\text{ C}$ до 100° C и закипела.

Дэви пришёл к выводу, что теория теплорода несовместима как с опытами Румфорда, так и с его собственными, и выдвинул кинетическую теорию тепла, согласно которой теплота представляет колебательное движение частиц тела, причём для газов и жидкостей он допускал и вращательное движение частиц. К колебательной теории тепла примкнул и Юнг.

И всё же теория теплорода продолжала господствовать. Два наиболее фундаментальных сочинения по теории тепла, относящиеся к рассматриваемому периоду — сочинения, которые по праву вошли в золотой фонд научной литературы, — основаны на концепции теплорода. Первое из этих сочинений, «Аналитическая теория тепла» Ф у р ь е, вышло в 1822 г. в Париже и представляет собой итог его многолетних исследований в области математической физики.

Идею этой работы можно выразить словами самого автора: «Глубокое изучение природы даёт богатый источник для математических открытий»: значение же его математических открытий для изучения природы прекрасно характеризуют слова В. Томсона и Тэта, сохраняющие свою силу и в наши дни: «Теорема Фурье не только представляет собой один из самых красивых результатов современного анализа, но даёт необходимейшее орудие при изучении почти всех ведущих вопросов современной физики».

Основной вопрос, разбираемый Фурье в этом сочинении, — это вопрос о распространении теплового потока в среде. Этот эффект может быть охарактеризован тремя константами: теплоемкостью, теплопроводностью (по Фурье, внутренней теплопроводностью) и коэффициентом теплоотдачи (по Фурье, внешней теплопроводностью).

Теплоотдача характеризуется количеством тепла, отдаваемого при стационарном потоке в единицу времени единицей поверхности тела, если температура тела 1° , а температура окружающей среды 0° . Фурье устанавливает, что интенсивность тепловых лучей зависит от их направления, она пропорциональна синусу угла, образованного лучом с элементом поверхности, окружающей точку излучения.

Таким образом, тепловое излучение подчиняется закону Ламберта для светового излучения. Внутренняя теплоотдача, по Фурье, складывается из лучеиспускания и передачи тепла окружающей среде. В 1818 г. Д ю л о н г (1785—1838) и П т и (1791—1820) произвели экспериментальные исследования в целях выяснения обоих компонент внешней теплоотдачи и проверки ньютоновского закона охлаждения. Развивая свои исследования, они применили разработанный ими метод для измерения теплоёмкостей твёрдых тел и пришли к установлению важного закона *постоянства произведения удельных теплоёмкостей и атомных весов* (закон атомной теплоёмкости Дюлонга и Пти, 1819 г.).

Внутренняя теплопроводность описывается эмпирическим законом, установленным Фурье, согласно которому ежесекундный поток тепла через слой толщиной dx прямо пропорционален разности температур dT на границах слоя, прямо пропорционален площади слоя и обратно пропорционален толщине слоя, т. е.

$$\frac{dQ}{dt} = kS \frac{dT}{dx}.$$

Отсюда Фурье находит знаменитое уравнение теплопроводности, которое в неограниченной среде с постоянной теплоёмкостью и теплопроводностью имеет вид

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right),$$

где $u = u(x, y, z, t)$ — температура в данной точке среды в данный момент. Задача теории теплопроводности может быть сформулирована так: определить распределение температур в теле заданной формы и с заданными свойствами при данном первоначальном распределении температур в теле и заданном распределении температур на границах.

Эта задача принадлежит к числу так называемых краевых задач математической физики и была решена Фурье для случаев бесконечного стержня, шара, кольца и куба. Свои результаты он применил к изучению вопроса о теплоте земного шара. Найденный им способ разложения периодических функций в ряды (Фурье) и представление функций с помощью интеграла (Фурье) имеет огромное значение в различных областях техники и физики, включая сюда и современную квантовую механику¹.

Другое сочинение принадлежало сыну знаменитого «организатора победы» Л. Карно Сади Карно. С. Карно родился 1 июня 1796 г., учился в Политехнической школе, с 1814 г. работает военным инженером, а с 1819 — лейтенантом при генеральном штабе. Как сын республиканского министра, находящегося в изгнании, Карно не мог продвигаться по службе и в 1828 г. вышел в отставку. Умер 24 августа 1832 г. от холеры. Сочинение «Размышление о движущей силе огня», вышедшее в 1824 г., было единственной законченной работой Карно.



Сади Карно.

Карно отирается от актуальной практической задачи: установить причины несовершенства тепловых машин. Он указывает, что высокий расход топлива по сравнению с получаемой работой машин грозит полной остановкой угольных копей. Поэтому выяснение условий получения движущей силы из тепла поможет установить правильные принципы её использования. Всякая тепловая машина является *циклической*. Карно рассматривает воображаемую циклическую машину с нагревателем и конденсатором (холодильником).

Рабочий цилиндр с теплоизолирующими стенками и поршнем сообщается дном с нагревателем, так что рабочее вещество цилиндра принимает температуру нагревателя. Положим, что рабочее вещество цилиндра — вода и насыщенный пар. Пар, расширяясь при температуре нагревателя (настолько медленно, чтобы всё время осуществлялось равновесие пара с жидкостью), совершает работу и при этом поглощает тепло от нагревателя. Далее цилиндр изолируется от нагревателя, и пару представляется возможность расширяться адиабатически, причём его температура падает

¹ Жозеф Фурье, сын портного, родился 21 марта, 1768 г., воспитывался в военной школе бенедиктинцев, готовился к монашеству. Революция избавила Фурье от монашества. Активно участвовал в революции в родном городе. Он был одним из первых 1500 воспитанников Ecole Normale. Участвовал в Египетской экспедиции Бонапарта. После реставрации оставался без работы. В 1816 г. был избран членом академии, а утверждён в 1817 г. Затем был секретарём академии и президентом политехнической школы. Умер 16 мая 1830 г.

$A-A'$. Таким образом, мы получили бы выигрыш работы без затраты топлива, т. е. так называемый перпетуум-мобиле. Карно считает это недопустимым и, таким образом, доказывает положение, что отношение произведённой машиной работы к взятому у нагревателя теплу является вполне определённой величиной, зависящей только от температур нагревателя и холодильника. Это отношение будет максимальным для обратимых машин, а необратимые машины при тех же условиях произведут меньше работы.

Глубокие идеи Карно, несмотря на неправильность основной предпосылки¹, не были оценены современниками, книга осталась незамеченной. Вероятно, одной из причин такого забвения было то, что внимание Французской академии в это время было сосредоточено на вопросах оптики и электродинамики.

Новые открытия в акустике и оптике.

Изучения внешней теплопроводности, последованные теоретически Фурье и экспериментально Дюлонгом и Пти, обусловлены в одной своей части лучеиспусканием. Учение о лучистой теплоте начало формироваться на грани XVIII и XIX вв. и в этот период было обогащено важными открытиями, истинное значение которых было оценено через столетие.

Термин «лучистая теплота» и первые наблюдения над тепловыми лучами принадлежат химiku Шееле, который в своём «Химическом трактате о воздухе и огне» (1777), наряду со своим сообщением об открытом им кислороде, трактует и о тепловых лучах. Он указывает, что воздух не согревается от тепловых лучей, что стеклянное зеркало не отражает тепловых лучей. Ещё раньше Ламберт заметил, что стекло задерживает тепловые лучи, подтвердив опыт металлургов, защищающих глаза от сильного жара стеклянными очками. Металлическое же зеркало, по наблюдениям Шееле, отражает тепловые лучи, оставаясь само холодным.

Следующие исследования теплового лучеиспускания принадлежат Пикте (1752—1825). Пикте, установив два вогнутых металлических «зеркала Пикте» параллельно друг другу и помещая в фокусе одного зеркала термометр, а в фокусе другого попеременно то нагретое, то охлаждаемое тело, обнаружил соответственно повышение и понижение температуры термометра, причём помещённый вблизи фокуса контрольный термометр показывал неизменную температуру. Эффект усиливался, если шарик термометра был зачернён. Пикте также установил, что опыт не удаётся со стеклянными зеркалами, а стеклянная пластинка преграждает путь тепловым лучам.

«Опыты об огне» Пикте вышли в 1790 г., а в следующем 1791 г. аббат Прево (1751—1839), основываясь на опытах Пикте, установил свою теорию «равновесия огня». Согласно Прево, нагретое тело испускает тепловые лучи, распространяющиеся по законам обычных лучей света. Каждое тело излучает теплоту и одновременно поглощает теплоту из окружающего пространства. Чем выше температура тела, тем больше оно теряет тепла лучами, нежели заимствует из окружающего, холодное же тело, наоборот, больше заимствует теплоты из окружающего пространства, чем отдаёт. Вследствие этого осуществляется перенос теплоты лучами от нагретых тел к холодным. При тепловом равновесии тело столько же поглощает тепла, сколько и излучает, и его температура остаётся неизменной.

¹ По дальнейшие исследования Карно привели его к отказу от этой предпосылки. В набросках, оставшихся после его смерти и изданных его братом в качестве приложения ко второму изданию «Размышлений» (1878), содержатся ясные и определённые указания на закон сохранения энергии и вычисление механического эквивалента тепла. Об этом ниже.

Нет ничего удивительного, что Прево пришёл к мысли о сходстве тепловых и световых лучей: огонь порождает свет и тепло. Теория Прево получила ещё большую поддержку в блестящем открытии Гершеля, который исследовал нагревательную способность различных частей солнечного спектра. Оказалось, что чувствительные термометры, помещённые в различных участках спектра, нагреваются не одинаково, температура растёт к красному концу спектра, повышение температуры отмечалось и за пределами спектра. Тогда Гершель направил развёрнутый в спектр световой

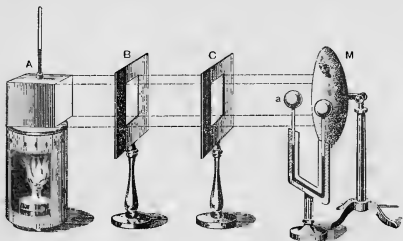


Рис. 192. Кубик Лесли.

поток на линзу, в фокусе которой был помещён шарик термометра. Половина линзы была прикрыта пашкой, так что весь видимый поток падал на пашку. Если красная граница спектра была удалена на $\frac{1}{10}$ дюйма от края пашки, то температура термометра повышалась на 45° , причём наблюдалась дифракция от края экрана, шарик был освещён слабым красноватым светом. Дифракция исчезала, если граница видимого спектра была отодвинута на $\frac{1}{5}$ дюйма, температура же повышалась в этом случае на 21° .

Отсюда Гершель сделал вывод о существовании в спектре невидимых лучей, распространяющихся по законам световых лучей и производящих сильное тепловое действие. Так были открыты инфракрасные лучи.

Однако были и противники теории невидимых тепловых лучей. Так, например, Л е с л и (1766—1832) считал, что самая идея невидимых лучей содержит внутреннее противоречие. В своих исследованиях с изобретённым им кубиком и дифференциальным термометром он, однако, положил начало количественному исследованию лучеиспускательной способности. Аналогичными исследованиями занимался Румфорд. И Лесли и Румфорд пришли к выводу, что излучательная способность тел тем ниже, чем выше их отражательная способность.

Лесли, таким образом, по существу продолжал исследования Прево. Значительно серьёзные были другие факты, свидетельствующие, что свет и тепло — не одно и то же. К ним относятся в первую очередь загадочные явления фосфоресценции и флюоресценции открытые ещё в первой половине XVII в. В XVIII в. эти явления изучались Петровым, Веджвудом, Гротгусом. Теории явления были предложены Босковичем, Эйлером, Гротгусом, однако сущность этих сложных процессов осталась скрытой.

С другой стороны, было открыто поглощение света без нагревания. В 1785 г. С е н б ъ ё открыл почернение хлористого серебра на свету. Р и т е р, исследуя действие различных частей спектра на хлористое серебро,

обнаружил, что красные лучи химически не активны, что химическая активность лучей возрастает к фиолетовому концу и что за фиолетовым концом спектра имеются невидимые очень активные химические лучи.

Эти «химические» лучи были открыты одновременно Волластоном (1801). Таким образом, область спектра была расширена как в сторону инфракрасных лучей, так и в сторону ультрафиолетовых. Тот же Волластон в 1802 г. открыл «фраунгоферовы» линии, которые он считал границами цветов. Границы красного цвета Волластон обозначил через *A* (высшая песчаная граница) и *B*, отделяющая красную часть от следующей, желто-зеленой, которая отделяется от синей линией *C*. Линия *D* отделяет синюю часть от фиолетовой, граница которой *E*. «Впрочем, — заключает Волластон, — бесполезно подробнее описывать явления, меняющиеся в зависимости от яркости света и объяснение которых я не могу принять на себя». Кроме того, Волластон полагал, что спектры раскаленных тел и электрического света также непрерывны. Поэтому история физики с полным правом приписывает открытие линий поглощения в солнечном спектре сыну стекольщика, оптическому мастеру Фраунгоферу (6 марта 1787 г. — 7 июня 1826 г.), опубликовавшему своё открытие в 1814 г.

Прежде чем перейти к изложению нового этапа борьбы двух концепций в оптике, изобилующего острыми драматическими моментами, мы должны рассмотреть состояние учения о механических колебаниях и волнах на рубеже XVIII—XIX вв., и в частности состояние акустики.

Математическая теория колебаний и волн в конце XVIII в. значительно продвинулась вперёд благодаря Лагранжу. В «Аналитической механике» один из разделов посвящён теории малых колебаний, последние разделы труда посвящены гидродинамике несжимаемой жидкости и гидродинамике упругих жидкостей. Однако разработка теории упругой среды началась только в XIX в. (Пуассон, Навье, Коши). С другой стороны, изучение специально акустических колебаний ограничивалось струной и трубами. В струне рассматривались поперечные колебания; только Рикатти (1767) заметил, что звучащая струна попеременно то укорачивается, то удлиняется. Вообще можно сделать вывод, что акустические проблемы XVIII в. составляли прерогативу математиков и музыкантов.

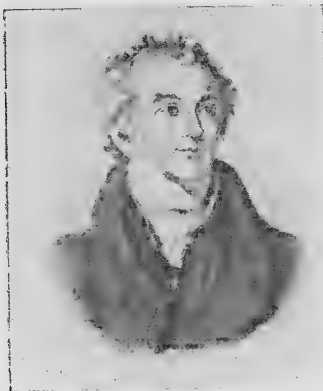
Первым систематическим трудом по акустике было сочинение Хладни (1756—1827) «Акустика», вышедшее в 1802 г. Хладни рассматривает различные источники звука, устанавливает важный факт существования продольных колебаний, а на цилиндрических стержнях и вращательных колебаний. Он дал первую теорию камертона, наконец ему принадлежит первый экспериментальный способ изучения колебаний в пластинках, известный под названием «хладниевы фигуры».

Именно это открытие доставило Хладни большую известность. Лаплас придавал большое значение замечательному эксперименту Хладни. Наполеон отпустил Хладни средства на издание его акустики на французском языке. Институт не замедлил объявить конкурсную задачу: найти математическую теорию хладниевых фигур. Но эта задача оказалась не под силу даже такому математику, как Пуассон. Только в 1883 г. Уитстону удалось дать теорию явления.

Любопытно, что опорные пункты и стимулы к математической разработке упругих колебаний и волн дала все-таки не акустика, а оптика. И здесь мы переходим к изложению переворота в оптических воззрениях, произошедшего в первой трети XIX в.

Начало борьбы было положено Томасом Юнгом, человеком изумительных и разносторонних дарований. Его биография в связи с этим, приобретает несомненный интерес.

Юнг родился 13 июня 1773 г. Детство своё он провёл у дедушки по матери, купца. Двух лет от роду Юнг научился читать¹, на шестом году он учился литературе у бристольского профессора, на восьмом году Юнг заинтересовался землемерными работами, которыми занимался его сосед-геодезист, и скоро научился искусству определять расстояния и вычислять высоты. С 9 до 14 лет Юнг жил в пансионе в Комитоне у профессора Томсона. За этот период Юнг изучал греческих и римских классиков, изучил французский, итальянский, древнееврейский, персидский и арабский языки.



Томас Юнг.

Увлёкшись ботаникой, он задумал сам построить микроскоп и с этой целью изучал токарное ремесло и дифференциальное исчисление (!). В этот же период Юнг написал обстоятельный разбор систем греческой философии. Выбирая профессию, Юнг решил остановиться на медицине, которую он изучал в Лондоне, Эдинбурге и Лейпциге, где и получил в 1795 г. степень доктора медицины. Но ещё в 1793 г. он поместил в «Phil. Trans.» работу по физиологической оптике «Наблюдения над процессом зрения». В этой работе Юнг занимался проблемой аккомодации. Этот вопрос тогда был очень спорным и неясным. Кеплер, Декарт и ряд других учёных считали, что аккомодация обусловлена деформацией глаза как целого; Потерфильд да и другие

считали, что аккомодация обусловлена перемещением хрусталика; Жюрен и Мунденброк считали причиной аккомодации изменение кривизны роговой оболочки; Соваж и Бурделло усматривали эту причину в изменении кривизны хрусталика.

К этому последнему мнению примкнул и Юнг, обосновав его тщательным изучением анатомии глаза и в особенности хрусталика. Теория Юнга вызвала шумные отклики. С одной стороны, появились притязания на первенство открытия, с другой — анатом Гом и оптик Рамеден представили доказательства неизменяемости хрусталика.

Юнг был вынужден отказаться от своей теории, однако в 1800 г. он взял отказ обратно и новыми опытами обосновал справедливость своего воззрения. В это же время сложились у него воззрения на природу света. С 1801 по 1804 г. Юнг — профессор Королевского института и автор принципа интерференции. В это же время он даёт ключ к разгадке египетских иероглифов. В 1807 г. вышел фундаментальный двухтомный труд Юнга «Лекции по натуральной философии». С 1818 г. он — секретарь бюро долгот и редактор знаменитого «Nautic. Alman.» (мореходный календарь). Напря-

¹ См. биографию Юнга в «Биографиях» Араго.

жёбший труд по этому изданию не пришёл Юнгу ничего, кроме несправедливых обвинений. В результате этих нападок Комиссия долгот была распущена, и хотя Юнга снова призывали к изданию календаря, все же эта история тяжело отразилась на его здоровье. Юнг умер 10 мая 1829 г.

Девизом Юнга было: «всякий человек может сделать то, что делают другие». Следуя этому девизу, Юнг, например, сделался цирковым наездником, канатоходцем и привлекал в знаменитом цирке Франкони многочисленную публику. Он был прекрасным музыкантом и играл почти на всех известных в его времена музыкальных инструментах. Глубокий знаток живописи, он знал всех мастеров этого искусства, до мельчайших деталей их творчества. В его сочинениях разбираются вопросы механики, оптики, акустики, теплоты, физиологической оптики, технологии, кораблестроения, астрономии, геофизики, медицины, филологии, зоологии и пр. Им было написано около 60 глав для приложений к «Британской энциклопедии».

При этом Юнг отнюдь не был кабинетным учёным. Он находил время блистать в обществе, а его семейная жизнь дала Араго повод заметить, «что слава великих открытий иногда соединяется со спокойствием и счастьем».

Не меньший интерес, хотя и в другом отношении, представляет биография другого участника великого спора, открытия которого заставили поколебаться автора принципа интерференции. Мы имеем в виду Малюса.

Этьен-Луи Малюс родился в Париже 23 июня 1775 г. в семье казначея. Малюс получил классическое образование и до конца жизни помнил наизусть обширные куски Илиады, стихи Горация, Вергилия, Анакреона и других греческих и римских поэтов.

В 1793 г. Малюс выдержал экзамен в известную Мезьерскую инженерную школу. Окончить школу ему не пришлось вследствие происшедших в ней волнений. Волонтёром 15-го Парижского батальона Малюс отправился в Дюнкерк, где участвовал в земляных фортификационных работах в качестве простого землекопа. Однако его способности быстро выдвинули его из простых рабочих, он рационализировал труд, и батальон, в котором работал Малюс, работал быстро с меньшей затратой труда. На это обратил внимание производитель работ инженер Лепер. Разговор Лепера с Малюсом имел то следствие, что Малюс попал в число первой полуторы тысячи учеников Политехнической школы (в числе этих учеников был, как мы помним, и Фурье).

По окончании школы 20 февраля 1796 г. Малюс отправился в Мец инженерным поручиком, затем в чине инженер-капитана принимал участие в военных операциях армии. Поведение Малюса в военных кампаниях даёт возможность Араго сделать вывод, «что глубокие знания и серьёзность в науке не ослабляют ни усердия, ни постоянства, ни мужества.



Малюс.

ни предприимчивости — необходимых достоинств всякого хорошего офицера».

Затем Малюс участвовал в Мальтийской экспедиции. Из Мальты он был откомандирован в Египетскую армию, где был активным участником многих сражений и походов. Малюс был членом основанного Бонапартом Египетского института. В качестве инженера он строил форт Дюои.

Потом Малюс был прикомандирован к дивизии Клебера, направлявшейся в Сирию. Он стоически переносит трудности похода в пустыне, активно содействует успеху осады и штурма Йффы, причём только случайно избежал несчастья во время ночной вылазки неприятеля, захватившего брешь — батарею.

После взятия города в нём вспыхнула эпидемия чумы. Армия выступила в поход, Малюс получил приказание остаться с больными и ранеными солдатами. На 11-й день он заболел чумой. Заболели все его друзья, знакомые и, наконец, единственный слуга. Все они умерли. «И остался один — без сил, без помощи, без друзей», вспоминал Малюс. Наконец его вывезли вместе с другими зачумлёнными на корабле в Лесбисхский лазарет.

Малюс рисует ужасную картину этого лагеря смерти. После месячного пребывания он был, наконец, изолирован от умирающих, выздоровел, был освобождён и вернулся к тяготам и опасностям Египетского похода. После перемирия с англичанами Малюс вернулся на родину и продолжал военно-инженерную службу, одновременно занимаясь и научными исследованиями по оптике. Он был членом Аркельского общества, а в 1810 г. был избран членом института.

За свои научные заслуги он получил от Королевского общества медаль Румфорда. Секретарь общества Юнг, извещая его об этом, писал: «Ваши опыты доказывают недостаточность моей теории, но не доказывают, что она ложная».

Ослабленный чумой и невзгодами военной жизни, организм Малюса не вынес. 23 февраля 1812 г. он умер от туберкулёза.

Таковы были эти два выдающихся деятеля, открытия которых дали толчок к возобновлению, после векового перерыва, дискуссии о природе света.

Уже в работе 1800 г. «Опыты и проблемы по звуку и свету» Юнг выдвигает новые аргументы против теории истечения: 1) трудность объяснения одинаковой скорости световых корпускул, выбрасываемых слабыми и сильными источниками, 2) трудность объяснения того обстоятельства, что при переходе из одной среды в другую одна часть лучей постоянно отражается, другая постоянно преломляется. Особенно важна одна из акустических глав, где Юнг разбирает вопрос об интерференции водяных волн (термин принадлежит Юнгу) и показывает, что при наложении акустических волн могут возникать усиления и ослабления звука, комбинационные тоны и биения.

В бекеровской лекции, опубликованной Юнгом в «Phil. Trans.» за 1801 г., уже сформулированы принципы волновой оптики. Вот эти принципы.

Гипотезы

I. Светоносный эфир, в высокой степени разрежённый и упругий, заполняет вселенную. II. Колебательные движения возбуждаются в этом эфире каждый раз, как тело начинает светиться. III. Ощущение различных цветов зависит от различной частоты колебаний, возбуждённых светом на сетчатке. IV. Все материальные тела притягивают эфирную среду, вследствие чего она накапливается в их веществе и на малом расстоянии вокруг них в состоянии большей плотности, но не большей упругости.

Предложения

I. Все импульсы распространяются в однородной упругой среде с равной скоростью. II. Колебательное движение, которое по предположению происходит от колебания отдельной частицы, должно распространяться в однородной среде в форме сферы, но с различным количеством движения в различных частях. III. Часть сферического колебательного движения, пропущенная через отверстие в покоящуюся среду, будет попрежнему распространяться прямолинейно concentрическими поверхностями, оканчивающимися сбоку слабыми и нерегулярными частями вновь расходящихся колебательных движений.

IV. Когда колебательное движение достигает поверхности, являющейся границей раздела сред различных плотностей, имеет место частичное отражение, обязательно пропорциональное разности плотностей.

V. Когда колебательное движение проходит через поверхность, разграничивающую различные среды, оно идет в таком направлении, что синусы углов падения и преломления находятся в постоянном отношении, равном отношению скоростей распространения в двух средах.

VI. Когда колебательное движение падает на поверхность менее плотной среды так косо, что оно не может быть правильно отражено, то оно полностью отражается под углом, равным углу его падения.

VII. Если предположить, что равноотстоящие колебательные движения проходят через среду, частицы которой способны совершать непрерывные колебания, несколько более медленные, чем упомянутые колебательные движения, то скорость последних будет уменьшена этой способностью к колебаниям и в той же среде тем больше, чем больше частота колебательных движений.

VIII. Когда два колебательных движения различного происхождения совпадают либо точно, либо весьма близко по направлению, то их совместное действие является комбинацией движений, принадлежащих каждому в отдельности.

Что же нового ввёл Юнг в своих принципах после Гюйгенса? Относительно новыми являются вторая и третья гипотезы о световых колебаниях и связи света с частотой колебания. Мы говорим относительно, ибо до Юнга со всей отчетливостью эти гипотезы выдвинул Эйлер (см. гл. IX). Новой является четвертая гипотеза об уплотнении эфира в весомах телах при сохранении упругости. Эта гипотеза в соединении с пятым предложением приводит к следующему выражению коэффициента преломления. Пусть ε и σ — упругость и плотность чистого эфира, тогда скорость распространения упругого импульса, которым является свет, будет

$$c = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\sigma}}.$$

Для вещества упругость эфира попрежнему σ , плотность σ_1 . Скорость света $c_1 = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\sigma_1}}$.

Показатель преломления по пятому предложению $n = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\sigma}}$.

Этим выражением впоследствии воспользуется Френель, о чём мы будем иметь ещё случай сказать подробнее.

В положении III содержится принцип дифракции. Здесь Юнг делает новый шаг в развитии оптики Гюйгенса, который как известно, полагал,

что боковые волночки, идущие от краёв ограниченной волновой поверхности, физически не ощутимы и, следовательно, на экране края отверстия будут резко очерчены по законам геометрической оптики. Совершенно новым является предложение VIII, которое Юнг применяет к объяснению колец Ньютона. Здесь Юнг впервые сознательно измеряет длину световых волн и числа колебаний. Таким образом, основное понятие волновой оптики — длина волны — было введено Юнгом.

В следующей работе, напечатанной в «Phil. Trans.» за 1801 г., Юнг формулирует открытый им «простой и общий закон». «Везде, где *две части одного и того же света* попадают в глаз различными путями, либо точно, либо весьма близко по направлению, свет становится более сильным там,

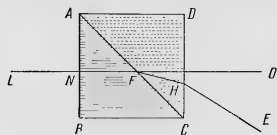


Рис. 193. Призма Рошона.

где разность путей есть целое кратное некоторой длины, и наименее сильным в промежуточных состояниях *интерферирующих* частей; и эта длина различна для света различных цветов».

Так в оптике появляются термин интерференция (здесь ещё в форме причастия) и точная формулировка условий когерентности: интерферируют «две части одного и того же света».

В докладе 24 ноября 1803 г., опубликованном в Phil. Trans. за 1804 г., Юнг применяет свой принцип к объяснению дифракционных явлений. Дифракцию от нити Юнг объясняет интерференцией, причём полосы вне геометрической тени получаются интерференцией прямого света и света, отражённого от краёв; полосы внутри тени получаются вследствие интерференции пучков, дифрагированных краями нити. В центре геометрической тени получается светлая линия.

В этой же работе Юнг дополняет свою теорию цветов тонких пластинок указанием на потерю полуволны при отражении света от более плотной среды. Этим объясняется тёмное пятно в центре системы ньютоновых колец. Юнг проверил свою гипотезу опытом, налив между чечевицей из кронгласа и пластинкой из флинтгласа каплю сассафрасового масла (так что $n_1 > n_2 > n_3$) и убедился, что центральное пятно стало белым.

В той же работе Юнг стремится распространить принцип интерференции и на невидимые лучи. В отношении инфракрасных лучей это ему не удалось из-за отсутствия подходящих приемников, но для ультрафиолетовых лучей опыт увенчался успехом. Юнг проектировал систему ньютоновых колец на бумагу, пропитанную раствором ляписа, и обнаружил три отчётливых тёмных кольца. Такова была первая форма спектрографа.

Свои опыты и принципы Юнг свёл в фундаментальную работу «Лекции по натуральной философии», вышедшей в 1807 г. Здесь Юнг описывает свой основной опыт интерференции от двух щелей, схема которого является основой расчёта аналогичных интерференционных опытов с интерференцией от двух когерентных источников. Однако Юнг не был уверен в успехе своей теории. Она либо игнорировалась, либо встречала резкую критику. Особенно яростно нападал на Юнга видный политический деятель и член Королевского общества Брум. Но дело было не только в этой критике. Появились новые факты, с которыми теория Юнга в её первоначальной форме не в силах была справиться.

Интерес к оптическим проблемам в начале XIX в. был вполне закономерным явлением. Если около двухсот лет назад этот интерес был про-

диктован потребностями мореплавания, то сейчас он стимулировался и развитием паротехники, и развитием химии, и развитием учения об электричестве. Казалось очень вероятным, что в природе тепла, света, электричества имеется что-то общее. Открытие фотохимических реакций, химические реакции, сопровождающиеся выделением тепла и света (в первую очередь горение), открытие тепловых и химических действий электричества, — всё это заставляло думать, что тщательное изучение природы света окажется не бесполезным и для решения важных практических и научных задач. Показательно обилие химических теорий света и электричества в духе ньютоновской корпускулярной теории (теории Гротгуса, Паррота и др.). Юнг связывал свои оптические воззрения с кинетической колебательной теорией тепла.

Проблема стояла так: какова природа всех этих агентов — огня, света, электричества — флюидная или кинетическая? Специальный вопрос о природе света превращался, таким образом, в основную проблему физических воззрений.

Вместе с Юнгом реставрацию гюйгенсовских воззрений попытался произвести Волластон, указавший, что гюйгенсовское построение хорошо объясняет теорию двойного преломления. Но в 1807 г. Малюс представил Парижской академии мемуар о коэффициенте преломления непрозрачных тел, который, по мнению Лапласа, Гаюи и Гей-Люссака, был «математическим доказательством истины ньютонова учения».

Вскоре после этого 4 января 1808 г. Парижская академия предложила конкурсную задачу: «Составить проверенную опытом математическую теорию двойного преломления света в различных кристаллических веществах». Срок конкурса был назначен на 1810 г.

12 декабря 1808 г. Малюс представил первые результаты своих опытов и основные принципы своей теории. Полная теория двойного преломления Малюса была напечатана в 1810 г. Следует отметить, что к началу XIX в. двойное преломление уже получило первое практическое применение. Астроном французского флота Рошон (1741—1817) сконструировал призму из исландского шпата, разделяющую обыкновенный и необыкновенный лучи, и применил её в своём микроскопе (1801). Вполне понятно, что создание точной теории этого явления, теории, оправдывающей опыт, было весьма актуальной задачей.

Размышляя над явлением, Малюс однажды вечером в конце 1808 г. посмотрел через кристалл исландского шпата на отражение заходящего солнца в стёклах Люксембургского дворца и к своему удивлению вместо двух изображений заметил одно. Проверя своё открытие ночью, Малюс наблюдал отражение свечи в воде и заметил, что при отражении луча под углом 36° к поверхности одно из изображений в кристалле исчезало. При других углах интенсивность обоих изображений вообще была различной, при вращении кристалла более интенсивное изображение ослабевало, а менее интенсивное делалось ярче.

Аналогичные явления наблюдались и для других отражающих поверхностей, только исчезновение одного из изображений происходило при других углах (для стекла при угле с поверхностью 35°). Правда, Малюс не установил точной зависимости этого угла от свойств поверхности, и закон $\operatorname{tg} i = n$ был найден Брюстером в 1815 г.

Далее, Малюс изучал отражение обыкновенного и необыкновенного луча и нашёл, что если один луч отражается, то другой проходит во вторую среду. Все эти факты привели Малюса к выводу, что гипотеза Ньютона о наличии в световом луче «изначальных» качеств асимметрии весьма вероятна.

Полярные свойства частиц, так отчетливо проявляющиеся в электрохимических процессах, навели его на мысль предполагать в световом луче наличие таких же полярных свойств и ввести термин «поляризация света». Поляризованный свет Малюс анализировал сначала с помощью исландского шпата, а затем и зеркалами. Этот опыт и дал ему возможность определить поляризованный луч, как такой «световой луч, который при одинаковом угле падения на прозрачное тело обладает свойством или быть отражённым, или же уклониться от отражения, обратившись к телу другой своей стороной; эти стороны или полюсы светового луча расположены всегда под прямым углом друг к другу». Малюс доказал, что обыкновенный и необыкновенный лучи поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях, а в работе 1810 г. сформулировал закон изменения интенсивности поляризованного света, прошедшего через анализатор: она пропорциональна $\cos^2 \alpha$, где α — угол образованный плоскостью поляризации с плоскостью главного сечения кристалла.

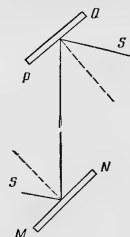


Рис. 194. Зеркала Малюса.

Малюс показал, что двойное преломление с тем же характером поляризации, как и в исландском кристалле, получается и в ряде других кристаллов: аргоните, барите и т. д.

Далее, Малюс исследовал поляризацию при простом преломлении. Это же явление было одновременно открыто и Био. Свет при преломлении оказывается частично поляризованным, поляризация преломлённого света противоположна поляризации отражённого. Наконец, Малюс исследовал анизотропию кристаллических тел и органических веществ и нашёл, что все кристаллические вещества, за исключением тех, которые кристаллизуются кубами или правильными октаэдрами, обнаруживают оптическую анизотропию.

То же самое свойство было открыто им и в органических веществах. Открытия Малюса послужили толчком к теоретическому и экспериментальному изучению двойного преломления. Исходя из концепции притягательного действия молекул тела на световые корпускулы и допустив, что в двоякопреломляющей среде это притягательное действие складывается из двух частей: одной, не зависящей от направления луча, и другой, зависящей от этого направления, Лаплас вывел формулу

$$v_e^2 = v_0^2 + k \sin^2 u,$$

где v_0 — скорость обыкновенного луча, v_e — скорость необыкновенного луча и u — угол, образованный направлением необыкновенного луча с оптической осью, k — константа, зависящая от свойств среды. Для двучных кристаллов Био нашёл

$$v_e^2 = v_0^2 + k \sin^2 u \cdot \sin^2 u'$$

и показал, что k может быть как положительным, так и отрицательным, и, таким образом, кристаллы могут быть не только притягивающими, но и отталкивающими.

Араго, проверяя результаты Малюса, рассматривал отражённый свет через трубку Рошона и нашёл, что оба изображения окрашены в дополнительные цвета (объектив трубки был изготовлен из горного хрусталя). Продолжая исследование, Араго наблюдал окрашивание слюдяных и гипсовых пластинок, помещённых между двумя отражающими поверх-

ностями, параллельными друг другу и ориентированными к падающему пучку под углом полной поляризации. При повороте анализирующего зеркала цвет пластинки изменялся на дополнительный. То же самое наблюдалось, если пластинка помещалась между двумя кристаллами исландского шпата. Араго установил, что цвет и характер явлений зависят от толщины пластинок.

Хроматическую поляризацию в сходящихся лучах описал в 1813 г. Брюстер (1781—1868). В одноосных кристаллах он описал цветные кольца с центральным крестом, а годом спустя — и хроматическую поляризацию в двухосных кристаллах, существование которых было обнаружено Био в 1812 г. на слюде и подтверждено наблюдениями Брюстера (в 1813—1818 гг.), открывшего целый ряд других кристаллов.

В 1815 г. Био установил законы явления вращения плоскости поляризации, которые впервые наблюдал в 1811 г. Араго в кварце.

Все эти явления чрезвычайно усложнили вопрос о природе света. Если открытие Малюса в своей первоначальной форме давало весьма вероятной гипотезу о полярных световых корpusкулах и Юнг, как мы уже говорили, сильно поколебался в своих взглядах, то новые факты говорили об изменчивости полярных свойств светового луча.

Сам Араго появление цветов при помещении между скрещенными поляризатором и анализатором кристаллической пластинки приписал способности луча деполяризоваться. Био считал, что теория световых корpusкул Ньютона должна быть дополнена теорией *подвижной поляризации*: ось поляризации совершает периодические колебания и с интервалом, пропорциональным интервалу световых приступов. Простые явления отражения и преломления света оказались до чрезвычайности усложненными. Вопрос о создании единой теории света, объясняющий как новые, так и уже давно известные факты, назрел.

Эта теория была создана инженером Огюстом Френелем. Френель родился 10 мая 1788 г. в Брольи, в Нормандии, в семье архитектора. В противоположность Юнгу, он не отличался в детстве блестящими способностями, к восьми годам он едва научился читать, но зато прославился среди своих сверстников искуснейшим конструктором бузиновых пупков и луков.

В 1801 г. Френель поступил в Центральную школу г. Кана. Затем Френель поступил в Политехническую школу (1804), где, несмотря на своё слабое здоровье, серьёзно мешавшее напряжённым занятиям в школе, своими способностями обратил на себя внимание Лежандра.

Из Политехнической школы Френель перешел в школу Путей сообщения. Получив звание инженера, в течение восьми лет занимался дорожными работами в Вандее, Дроме и др. Во время реставрации как роялист присоединился к войскам Бурбонов. Поэтому в период ста дней он был отставлен от должности. Это имело для него и свою хорошую сторону: во время вынужденного безделья он занялся вопросами оптики и в 1815 г. представил в Академию первое исследование о дифракции света. Скорячительно разработанный труд по дифракции получил в 1819 г. премию академии. В 1823 г. Френель был избран членом академии. Но в 1824 г. сильное кровотечение заставило его отказаться от всякой научной деятельности. Он умер 14 июля 1827 г.

Френель не знал о работах Юнга, когда приступил к изучению дифракционных явлений. Он исходил из принципа Гюйгенса, дополненного им принципом интерференции. Это дало ему возможность получить законы геометрической оптики: прямолинейное распространение света, геометрическое отражение и преломление. Все эти явления первоначальной тео-

рпей Гюйгенса объяснялись не вполне удовлетворительно. Френель показал, что законы геометрической оптики имеют место только при бесконечно больших отражающих и преломляющих поверхностях и отверстиях. Если, например, размеры зеркальной поверхности становятся сравнимыми с длиной волны, то должна иметь место дифракция. Точно так же при малых размерах ширин и отверстий будет наблюдаться дифракция. Но в отличие от Юнга, полагавшего, что шаржные полосы получаются интерференцией прямого пучка с лучами, отражёнными от краёв ширмы, Френель считает, что отражение от краёв не имеет места. Его расчёт основывается на учёте действия всех точек волнового фронта, не закрытых экраном. Разумеется, такое игнорирование действий краёв не может быть физически оправдано, но трудности строгой теории дифракционных явлений настолько велики, что только в 1895 г. Зоммерфельд разобрал простой случай дифракции от края экрана. Сам Френель дал приближённую теорию, но вполне охватывающую существенные черты явления.

Его приближённый способ подсчёта путём разбивания волнового фронта на зоны, которые так и вошли в учебники под названием зон Френеля, общеизвестен¹.

Френель приложил свою теорию к рассмотрению дифракции от края экрана и круглого отверстия. Результаты вычислений оказались в хорошем согласии с опытом. Это была первая количественная теория дифракционных полос, и Араго, рассматривавший вместе с Пуансо работу Френеля, сразу превратился в приверженца новой теории.

Но Пуассон вывел из формулы Френеля следствие, ускользнувшее от внимания автора, а именно, что в центре тени от круглого экрана должна быть такая же освещённость, как если бы никакой преграды для света не было. Араго настолько уверовал в силу теории Френеля, что не замедлил проверить это парадоксальное следствие опытом. Возражение Пуассона превратилось в свою прямую противоположность, опыт блестящим образом подтвердил следствие теории. Этот факт произвёл огромное впечатление, хотя ещё в первой половине XVIII в. Делиль наблюдал в центре тени от круглого диска светлое пятнышко, да и Юнг уже указывал, что в центре тени от нити должна быть светлая полоска.

Как было указано выше, мемуар Френеля о дифракции был премирован академией, хотя противники волновой теории далеко ещё не сложили оружия. Но согласовывать старую теорию с новыми фактами становилось всё более затруднительным. Особенно трудно было объяснить классический опыт Френеля с двумя зеркалами, где Френель чрезвычайно убедительно показал, как лучи света, идущие от двух одинаковых мнимых источников, попеременно гасят и усиливают друг друга. Но и перед волновой теорией стояли значительные трудности.

Предстояло применить принцип интерференции к явлениям хроматической поляризации. Юнг полагал, что цвета кристаллических пластинок объясняются интерференцией обыкновенного и необыкновенного лучей. Френель в 1816 г. занялся проверкой этого предположения и пришел к отрицательному результату. Дальнейшие исследования, предпринятые им совместно с Араго, привели к установлению следующих законов интерференции поляризованных лучей.

¹ Более точное вычисление интенсивности в какой-либо точке экрана приводит выражением, содержащим так называемые интегралы Френеля:

$$C = \int_0^v \cos \frac{\pi}{2} v^2 dv; \quad S = \int_0^v \sin \frac{\pi}{2} v^2 dv.$$

I. При тех самых условиях, при которых два луча обыкновенного света как бы уничтожают друг друга¹, два луча, поляризованные в противоположных направлениях², не оказывают влияния друг на друга³.

II. Два луча, поляризованные в одном и т.м же направлении, действуют друг на друга подобно обыкновенным лучам.

III. Два луча, поляризованные первоначально в противоположных направлениях, не интерферируют, если даже будут приведены в одну плоскость поляризации⁴.

IV. Два луча, поляризованные в противоположных направлениях и затем приведённые к одной и той же поляризации, действуют друг на друга точно так же, как естественные лучи, если они возникли из луча, первоначально поляризованного в одном направлении.

Юнг уже после первых опытов Френеля сообщил в письме Араго от 12 января 1817 г., что для истолкования их результата (I закон) следует предположить, что световые колебания поперечны. Эта гипотеза не улыбалась ни самому Юнгу, ни Френелю, так как предположить существование упругости сдвига в такой тонкой жидкости, какой представлялся эфир, казалось, по меньшей мере, странным. Сам Френель говорит, что «эта гипотеза находилась в таком противоречии с общепринятыми представлениями о природе колебаний упругих жидкостей, что я долго не решался её принять; и даже когда совокупность всех фактов и долгое размышление убедили меня, что эта гипотеза необходима для объяснений оптических явлений, я штылся раньше, чем представить её на суд физиков, убедиться в том, что она не противоречит основам механики». Но эта гипотеза дала возможность Френелю не только истолковать приведённые выше законы интерференции поляризованных лучей, но и получить ряд других важных следствий. К ним относятся: теория вращения плоскости поляризации, теория отражения и преломления, теория двойного преломления.

Вращение плоскости поляризации Френель объяснил после того, как им был подробно исследован вопрос о сложении не интерферирующих взаимно перпендикулярных колебаний и установлено понятие об эллиптической и круговой поляризации. Допустив, что линейно-поляризованный луч разлагался в среде, вращающей плоскость поляризации, на два круговых с противоположными направлениями вращения, Френель выводит законы, найденные Био, в предположении, что оба компонента распространяются с разными скоростями. В правовращающем веществе скорость распространения кругового колебания, поляризованного вправо, больше, чем скорость левокругового колебания, и по выходе из вещества оба круговых колебания сложатся в линейное, плоскость поляризации которого будет повернута относительно первоначальной вправо на угол

$$\alpha = \frac{\pi l}{\tau} \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) = \frac{\pi l}{\lambda} (n_1 - n_2)$$

Френель дал и изящное экспериментальное доказательство своей теории: пучок линейно-поляризованного света падает на основание призмы, сложенной из трёх призм: двух прямоугольных из правовращающего кварца и промежуточной тупоугольной с преломляющим углом в 152° из левовращающего кварца. Из призмы пучок выходит расщеплённым на два,

¹ Т. е. интерферируют.

² Т. е. по взаимно перпендикулярных плоскостях.

³ Не интерферируют.

⁴ Предполагается, что лучи произошли из естественного луча. См. IV закон

поляризованных по кругу в противоположных направлениях. В своих опытах Френель располагал достаточными средствами для анализа круговой поляризации. Эти средства были найдены им при изучении поляризации при простом преломлении и отражении. Френелевская теория отражения и преломления основывалась не на вполне строгих предпосылках, но её выводы подтверждены и электромагнитной теорией света. Предпосылки теории Френеля следующие:

1) Свет — поперечные колебания в упругой среде, распространяющиеся со скоростью $V = \sqrt{\frac{E}{\delta}}$, где E — упругость эфира, δ — его плотность.

2) При переходе из одной среды в другую упругость эфира не меняется, изменяется его плотность. Поэтому показатель преломления

$$n = \frac{v}{v_1} = \sqrt{\frac{\delta_1}{\delta}} = \frac{\sin \varphi}{\sin \psi}.$$

3) В пограничном слое алгебраическая сумма слагающих амплитуд, параллельных границам раздела падающей и отражённой волны, равна соответствующей компоненте амплитуды преломлённой волны.

4) Живая сила падающей волны в некотором объеме, огра-

ниченном частью поверхности, на которую падает волна, и отрезками лучей, равна сумме живых сил отражённой и преломлённой волн, отходящих от той же части поверхности и прошедших пути соответственно общему времени распространения всех трёх волн.

Отсюда получаются знаменитые формулы Френеля:

а) Для составляющих амплитуд, параллельных границе раздела (плоскость поляризации параллельна плоскости падения),

$$u_{11} = -\frac{\sin(\varphi - \psi)}{\sin(\varphi + \psi)} a_{11},$$

$$v_{11} = \frac{2 \cos \varphi \sin \psi}{\sin(\varphi + \psi)} a_{11},$$

где u_{11} — составляющая амплитуда отражённого луча, v_{11} — составляющая амплитуда преломлённого луча, a_{11} — составляющая амплитуда падающей волны.

в) Для составляющих амплитуд, параллельных плоскости падения (плоскость поляризации перпендикулярна плоскости падения),

$$u_1 = -\frac{\operatorname{tg}(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}(\varphi + \psi)} a_1, \quad v_1 = \frac{2 \sin \psi \cos \varphi}{\sin(\varphi + \psi) \cos(\varphi - \psi)} a_1.$$

Из этих формул вытекает и закон Брюстера, и найденный Араго закон частичной поляризации отражённого и преломлённого луча (интенсивности поляризованных частей в отражённом и преломлённом лучах одинаковы). В формулах Френеля содержится и закон изменения фазы при отражении от более плотной среды (потеря полуволны). Но Френель пошёл дальше. Он пожелал исследовать случай полного отражения. С исключительной

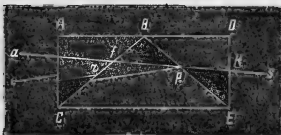


Рис. 195. Призма Френеля.

проницательностью Френель обобщил свои формулы и на случай $\sin \varphi > n$,

$$\text{положив } \sin \psi = \frac{\sin \varphi}{n} > 1 \text{ и } \cos \varphi = \sqrt{\frac{\sin^2 \varphi}{n^2} - 1}.$$

Тогда амплитуды отражённой волны будут представляться суммой действительной и мнимой части. Это различие, по Френелю, интерпретируется как разложение её на две части, из которых одна сдвинута по отношению к другой по фазе на $\frac{\pi}{2}$.

В самом деле, если формально представить изменение фазы амплитуды на $\frac{\pi}{2}$ умножением на коэффициент α , то изменение фазы на π должно представляться умножением на α^2 , а так как при изменении фазы на π амплитуда меняет знак, то

$$\alpha^2 A = -A, \quad \alpha = \sqrt{-1}.$$

Но в таком случае формулы Френеля приводят к следующему результату: интенсивности обеих компонент отражённой волны оказываются равными соответствующим интенсивностям падающей волны (полное отражение), но фазы колебаний отражённой волны не совпадают с фазами упавшей волны. При этом скачок фазы для компоненты, параллельной отражающей поверхности, и для компоненты, параллельной плоскости падения, оказывается различным. Обе компоненты отражённой волны будут сдвинуты по фазе друг относительно друга на угол ε , определяемый равенством

$$\cos \varepsilon = \frac{2 \sin^4 \varphi}{(1+n^2) \sin^2 \varphi - n^2} - 1 \quad (n < 1).$$

Если свет падает на стекло ($\frac{1}{n} = 1,51$) под углом $\varphi = 55^\circ$, то $\varepsilon = \frac{\pi}{4}$, при двух отражениях $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$. На этом основано действие *параллелепипеда Френеля*, позволяющего получить из линейно-поляризованного света свет, поляризованный по кругу, и наоборот. На грань призмы, продольное сечение которой — параллелограмм с углом 55° , падает перпендикулярно к ней линейно-поляризованный луч, плоскость поляризации которого составляет угол 45° с плоскостью падения, так что обе компоненты амплитуды равны по величине. После двукратного полного отражения между компонентами создаётся разность фаз $\frac{\pi}{2}$ и свет выйдет поляризованным по кругу.

Наконец, Френель рассмотрел вопрос о двойном преломлении в двухосных кристаллах (и как частный случай — одноосных кристаллах). Его теория зиждется на следующих предположениях:

1) Плоскость световых колебаний перпендикулярна плоскости поляризации.

2) При распространении линейных поперечных колебаний в упругой среде в ней возникают упругие силы, совпадающие с точностью до постоянного множителя, не зависящего от направления распространения волны, с упругой силой, возникающей при колебании одной частицы.



Рис. 196. Параллелепипед Френеля.

3) Когда в однородной среде распространяются плоские волны, то действуют только те составляющие упругих сил, которые параллельны плоскости волнового фронта.

4) Скорость плоской волны, распространяющейся в какой-либо однородной среде без изменения формы, пропорциональна квадратному корню из действующей упругой силы, вызванной колебаниями.

В анизотропной среде направление упругой силы, вызванной смещением колеблющейся частицы, не совпадает с направлением этого смещения и только в том случае, когда направление колебания совпадает с направлением одной из трёх главных осей упругости, упругая сила будет параллельна смещению. Если значения коэффициентов упругости для трёх главных осей ox , oy , oz суть e_1 , e_2 , e_3 , то коэффициент упругости для смещения направленного по r ($\cos \alpha$, $\cos \beta$, $\cos \gamma$)

$$e = e_1 \cos^2 \alpha + e_2 \cos^2 \beta + e_3 \cos^2 \gamma;$$

положив

$$r^2 = \frac{1}{e}, \quad a^2 = \frac{1}{e_1}, \quad b^2 = \frac{1}{e_2}, \quad c^2 = \frac{1}{e_3}$$

и

$$r \cos \alpha = x, \quad r \cos \beta = y, \quad r \cos \gamma = z,$$

получим уравнение эллипсоида упругости $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$. Длина радиуса-вектора этого эллипсоида определяет упругость среды в направлении радиуса-вектора. Главные скорости распространения волны

$$v_1 = K \sqrt{e_1} = \frac{C}{a}, \quad v_2 = K \sqrt{e_2} = \frac{C}{b}, \quad v_3 = K \sqrt{e_3} = \frac{C}{c}.$$

В соответствии с основными предположениями получается простое геометрическое правило для определения скорости волн в анизотропной среде. Чтобы определить скорость волны, распространяющейся по какому-нибудь направлению ON , строим в точке O эллипсоид упругости и пересекаем его поверхность плоскостью, проходящей через центр O и перпендикулярной ON . Направления полуосей r_1 и r_2 эллипса, получившегося в плоскости сечения, определяют направление двух линейно-поляризованных колебаний, распространяющихся по данному направлению ON , а величины

$$v' = \frac{C}{r_1}, \quad v'' = \frac{C}{r_2}$$

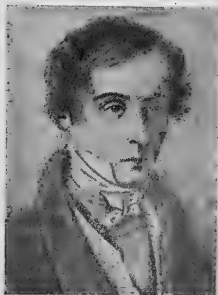
— скорости распространения этих колебаний. Если провести из центра всевозможные направления и отложить вдоль этих направлений отрезки, пропорциональные соответствующим скоростям, то геометрическое место концов этих отрезков даст волновую поверхность.

Сечения этой поверхности координатными плоскостями xoy , yoz , zox имеют вид, изображённый на чертежах (197 а, б, в). Так как в трёхосном эллипсоиде существуют два направления, для которых нормальные к ним плоскости сечения, проходящие через центр, пересекают поверхность (го по окружностям, то существуют две оси, вдоль которых волна распространяется с одной скоростью. Это — две оптические оси двухосного кристалла. В частности, если эллипсоид — эллипсоид вращения ($a = b$), то мы получаем одноосный кристалл, и волновая поверхность вырождается в поверхность Гюйгенса.

Построение Френеля показывает, что лучи не совпадают по направлению с нормальными к волновой поверхности. Поляризация и законы двой-

ного лучепреломления описываются теорией Френеля правильно, хотя предпосылки её вызывают сомнения, да и строгого вывода уравнения волновой поверхности (поверхности четвёртого порядка) Френель не дал. Тем не менее уже сам Френель мог проверить важное следствие своей теории, а именно, что в двухосных кристаллах одна из волн подчиняется обычному закону преломления, если плоскость падения совпадает с главной плоскостью кристалла. Но ещё более важным следствием из теории Френеля было теоретически предсказанное Гамильтоном (1832) явление *конической рефракции*, открытое в соответствии с указаниями теории Ллойдом в следующем, 1833 г.

Этот тонкий эффект, связанный с формой волновой поверхности, чрезвычайно трудно получить экспериментально. Шустер рассказывает, что когда Максвелл получил кафедру экспериментальной физики, он с напряжением работал над воспроизведением опытов Ллойда. Как только эффект был получен, обрадованный Максвелл выбежал из лаборатории, ища, с кем бы поделиться радостью вознаграждённого труда. Встретив своего коллегу, профессора прикладной математики, он спросил его: «Хотите посмотреть коническую рефракцию?» — «Нет, благодарю Вас, — ответил тот, — я всю жизнь её преподавал и не хочу, чтобы моё представление о ней изменилось». Ответ, достойный Лавуазье, не пожелавшего взглянуть на Нептуна, существование которого он установил вычислением. Недаром открытие конической рефракции сравнивалось с этим знаменитым астрономическим открытием



Огюст Френель.

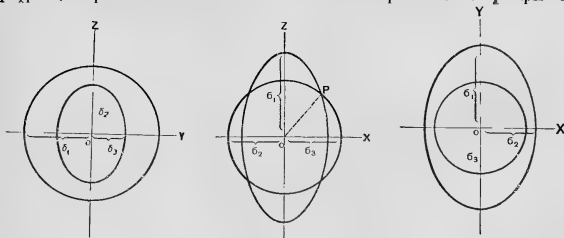


Рис. 197. Сечение волновой поверхности.

Блестящие теоретические исследования Френеля не мешали ему решать и важные практические задачи. Он разработал лучшую, по условиям того времени, систему освещения маяков, заменив параболические зеркала ступенчатыми линзами Френеля (линзы этого типа использовались уже Бюффеном для концентрации тепловых лучей). Теория и практика гармонично сочетались в творчестве Френеля.

непрерывно накаленной, что вначале смущало физиков, полагавших, что для успеха опыта нужна непременно мощная батарея, но вскоре выяснилась ошибочность такого мнения, и опыты стали множиться в геометрической прогрессии. Сам Эрстед во второй статье в августе того же года (Schweiger's journal, XXIX, 1820 г., стр. 364) отметил необязательность накаливания проволоки и показал, что свободно подвешенный замкнутый гальванический элемент в свою очередь отклоняется магнитом. Принципиальная важность открытия Эрстеда, послужившего стимулом к бессмертным открытиям Ампера и Фарадея, заключалась в следующем:

1) Была установлена связь между двумя группами явлений, которые со времён Гильберта считались принципиально различными.

2) Был открыт новый вид взаимодействия. До сих пор физика знала центральные силы. Провод не притягивает и не отталкивает полюсов стрелки, а устанавливает её перпендикулярно своей длине. «Опыт Эрстеда совершенно противен элементарным правилам механики», — замечает Араго.

3) Наконец, новое открытие давало в руки физикам средство построить чувствительный и удобный *индикатор* электрического тока. И уже в сентябре 1820 г. Швейггер (1779—1857) изобрёл мультипликатор, а в 67-м томе «Гильбертовских апиалов» за 1821 г. появилось описание Поггендорфа (1796—1877) конструкции мультипликатора в его современной школьной форме.

4) И последнее, эффективность и гибкость нового взаимодействия заключали в себе зерно будущих технических приложений электрической силы. Если Земмери уже в 1810 г. пытался построить электрический телеграф, используя такой малодобный эффект, как электрилиз, то какие же возможности только в этом отношении открывались теперь?

Поэтому вполне понятен тот повышенный интерес, который проявили физики к открытию Эрстеда. 18 сентября 1820 г. Парижская академия заслушала первый доклад Ампера об электромагнетизме. В 1827 г. вышла «Теория электродинамических явлений, выведенная из опыта», по поводу которой Максвелл сказал: «Теория и опыт как будто в полной силе и законченности вылились сразу из головы «Ньютона электричества», и эта максвелловская оценка является наиболее точной характеристикой заслуг Ампера в развитии электродинамики.

Андре Мари Ампер родился 22 января 1775 г. в Лионе в семье коммерсанта. Отец его Жан Жап Ампер был образованным человеком, и Ампер ещё мальчиком 14 лет прочитал с большим увлечением все двадцать томов «Энциклопедии» Дидро и Даламбера. Когда библиотека отца была исчерпана, Ампер стал ездить в городскую библиотеку Лиона. Чтобы читать Бернулли и Эйлера, он в несколько недель изучил латинский язык.

В 1793 г. Лион восстал против республики. При подавлении восстания отец Ампера был казнён как аристократ. Это событие тяжело отразилось на 18-летнем юноше, более года Ампер находился в состоянии глубокой депрессии. Первой книгой, возбудившей интерес Ампера после болезни,



Ганс Христиан Эрстед.

были «Письма о ботанике» Руссо. Увлечение ботаникой было настолько глубоким, что Ампер мог самостоятельно решать сложные задачи систематики растений. В 1799 г. Ампер женился. До женитьбы Ампер жил в Лионе на доходы от частных уроков. После рождения сына в 1800 г.¹ потребовался более прочный источник существования, и в 1801 г. Ампер занял кафедру физики в Центральной школе г. Бурга.

В 1802 г. вышел труд Ампера, посвящённый теории вероятностей, «Соображения о математической теории игры». В 1805 г. Ампер получил место репетитора в Политехнической школе и много работает по вопросам



Андре Мари Ампер.

чистой и прикладной математики. Наиболее значительными его работами являются: «Исследования о приложении вариационного исчисления задачам механики», доказательство принципа возможных перемещений, исследования в области анализа и др.

С 1813 г. Ампер — член института; занял это место после Лагранжа. Но Ампер не был узким специалистом: как истинный сын «Энциклопедии», он глубоко интересовался вопросами философии, психологии, лингвистики, сравнительной зоологии. Им была предложена классификация наук, правда не встретившая сочувствия даже у его современников. Но современники смеялись и над гениальной идеей Ампера об эволюции организмов. Ампер спорил с знаменитым Кювье, провозгласившим тезис раздельного существования однажды возникнувших видов. Противники Ампера, желая довести его, как

полагали, до абсурда, спрашивали: «Неужели человек произошел от улитки?» — «Так, точно так, — отвечал Ампер. — После добросовестного изучения я уверился в законе, странном по наружности, но который со временем возьмёт своё. Я уверился, что человек образован по общему закону для всех животных».

Смерть этого замечательного человека и гениального учёного последовала по дороге в Марсель 10 июля 1836 г. Марсельский телеграф немедленно передал известие о смерти Ампера в Париж. Отмечая этот факт, Араго говорит, что телеграфист поступил в соответствии с государственным долгом, ибо «смерть Ампера — несчастье национальное». Араго преуменьшил значение события. Столетнюю годовщину смерти Ампера отмечал весь цивилизованный мир.

По сочинению Ампера трудно проникнуть в ход мыслей автора, и действительно, создаётся впечатление, что «теория и опыт... вылились сразу» из головы её создателя. Но это, разумеется, не так. События развёртывались следующим образом.

Летом 1820 г. в Женеве происходил съезд естествоиспытателей. На этом съезде Делля-Рив демонстрировал опыт Эрстеда. Араго, присутствовавший на съезде, по возвращении во Францию сделал 4 сентября в академии сообщение о новом открытии, а через неделю воспроизвёл перед академиком эрстедовский эксперимент. Ещё через неделю последовало первое сообщение Ампера. В этом сообщении Ампер предложил своё зна-

¹ Сын Ампера — известный французский историк литературы, археолог и лингвист — закончил после смерти отца его книгу «Опыт философии наук».

менитое «правило пловца» для определения направления отклонения стрелки и высказал мысль, что магнетизм земли вызывается круговыми токами, обтекающими землю в направлении с востока на запад. Очевидно, что Ампер уже знал магнитное действие кругового тока. Но тогда, заключает Ампер, и причину магнетизма постоянного магнита следует усматривать в круговых токах, обтекающих магнит в плоскостях, перпендикулярных его оси. А отсюда, естественно, вытекала идея эксперимента: изучить взаимодействие токов.

Магнит, по представлению Ампера, аналогичен катушке, обтекаемой током. Поэтому Ампер сначала доказал, что такая катушка действительно действует на стрелку, а затем обследовал взаимодействие катушек. Таким образом, к основному факту своей теории — факту взаимодействия токов — Ампер пришёл на основе определённой гипотезы, которую можно назвать «электродинамической гипотезой магнетизма». Это — весьма существенное обстоятельство, так как в своем трактате Ампер стремится выдержать строго ньютоновский дух «*hypotheses non fingo*». Вместе с Ампером исследованием электромагнетизма занимался Араго, который нашёл, что медная проволока, пропизываемая током, притягивает железные опилки и что стальную иглу можно намагнитить, пропуская по ней ток. Ампер посоветовал Араго намагничивание производить током соленоида: стеклянная трубка обвивалась проволокой (изоляция ещё не была изобретена), по которой пропускался ток. Этот ток намагничивал иглу, помещённую внутри трубки.

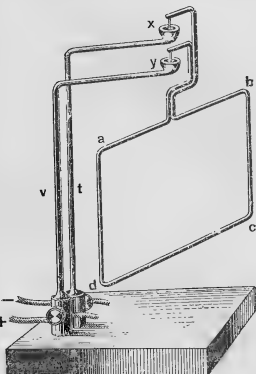


Рис. 199. Станок Ампера.

В такой форме был осуществлён первый электромагнит. 25 сентября 1820 г. Ампер доложил о сделанном открытии им *взаимодействия токов*, а Араго — об открытии *намагничивания током*.

После открытия взаимодействия круговых токов Ампер переходит к изучению взаимодействия линейных токов. По его заказу изготовляется известный «станок Ампера», на котором он открывает взаимодействие линейных токов: токи, текущие в одном направлении, взаимно притягиваются, в противоположных направлениях — отталкиваются. Взаимодействия токов оказываются совершенно отличными от электрических взаимодействий, поэтому Ампер предлагает назвать новые факты *электродинамическими* и разделить учение об электромагнетизме на две части: электростатику и электродинамику. Для магнетизма, как особого раздела физики, в системе Ампера места не остаётся. Магнетизм — это раздел электродинамики, магнитные взаимодействия — это взаимодействия круговых токов.

Круговой ток эквивалентен тонкому плоскому магниту. Магнитные полюса — это левая и правая стороны кругового тока. 16 октября Ампер объясняет опыты Араго с точки зрения своей теории. 30 октября Ампер сообщает о новом подтверждении своей теории: свободно подвешенный соленоид ориентируется в магнитном поле земли как магнитная стрелка

На этом же заседании Био и Савар сообщили о найденном ими законе действия прямого тока на магнитную стрелку:

«Если проводник с проходящим по нему вольтовым током действует на частицу северного или южного магнетизма, находящуюся в известном удалении от середины проводника, то *раснодействующая* всех сил из проводника *направлена перпендикулярно к кратчайшему расстоянию частицы от проволоки*, и общее действие проводника на любой южно- или североманнитный элемент обратно пропорционально расстоянию последнего от проволоки».

Лаплас показал, что закон Био — Савара может быть выведен из допущения, что действие тока складывается из действия его отдельных элемен-

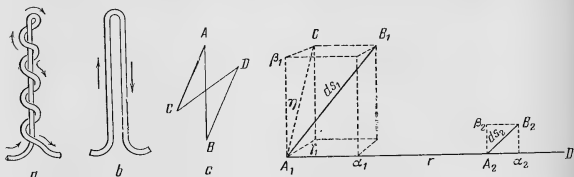


Рис. 200 -201. К закону Ампера.

Рис. 202. К выводу Ампера.

тов. Элементарный закон Био — Савара — Лапласа положил начало математической теории электродинамики, развиваемой в духе классических образцов ньютоновской механики. Теории Ампера была первой теорией такого рода. В конце 1820 г. Ампером были сформулированы следующие основные предпосылки своей теории.

1) Два близких тока, параллельных друг другу и текущих в противоположном направлении, не оказывают действия на внешние токи (рис. 200, 201).

2) Внешнего действия не будет и в том случае, если второй ток обвивает первый зигзагообразной линией (рис. 200, 201).

Это означает, во-первых, что сила взаимодействия токов изменяется с изменением направления токов, что два тока равной длины, силы и направления эквивалентны по своим действиям. Отсюда можно положить, что искомая сила взаимодействия токов:

$$F = CI_1I_2ds_1ds_2.$$

Это означает, во-вторых, что линейный элемент тока AB эквивалентен геометрической сумме элементов AC , CD , DB (рис. 200, 201), т. е. элементы тока можно заменять по законам геометрического сложения. Далее Ампер устанавливает, что если плоскость, в которой лежит элемент, перпендикулярна оси действующего на него элемента тока, то $F = 0$. Так как между параллельными токами действуют силы притягательные, антипараллельные токи отталкиваются, а токи, направления которых образуют тупой или острый угол, поворачиваются в противоположных направлениях так, чтобы стать параллельно друг другу, то это предположение Ампера может быть обосновано. Но отсюда следует, что сила взаимодействия зависит от угла ϵ между элементами.

Она зависит также от расстояния:

$$F = \frac{I_1 I_2}{r^n} ds_1 ds_2 f(\varepsilon_1 \theta_1, \theta_2),$$

где θ_1, θ_2 — углы элементов ds_1 и ds_2 с расстоянием r .

Пусть (рис. 202) η — угол между плоскостями (r, ds_2) и (r, ds_1) . Разложим элемент ds_2 на две взаимно перпендикулярные компоненты a_2, β_2 по направлению r и перпендикулярно к нему:

$$a_2 = ds_2 \cos \theta_2; \quad \beta_2 = ds_2 \sin \theta_2.$$

Элемент ds_1 разложим на три взаимно перпендикулярные компоненты: α — по направлению r , β_1 — перпендикулярную к r и лежащую в плоскости (r, ds_2) , γ — перпендикулярную к r и лежащую в плоскости, перпендикулярной (r, ds_2) :

$$\alpha_1 = ds_1 \cos \theta_1; \quad \beta_1 = ds_1 \sin \theta_1 \cos \eta; \quad \gamma_1 = ds_1 \sin \theta_1 \sin \eta.$$

Отличными от нуля из всех шести взаимодействий будут только взаимодействия (α_1, a_2) и (β_1, β_2) . Полагаем (выбрав соответственно единицу тока):

$$(\beta_1, \beta_2) = \frac{I_1 I_2 \beta_1 \beta_2}{r^n} = \frac{I_1 I_2 ds_1 ds_2}{r^n} \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos \eta,$$

$$(\alpha_1, a_2) = \frac{K I_1 I_2 ds_1 ds_2}{r^n} \cos \theta_1 \cos \theta_2.$$

Следовательно,

$$F = \frac{I_1 I_2 ds_1 ds_2}{r^n} (k \cos \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos \eta).$$

Если ввести угол между элементами

$$\cos \varepsilon = \cos(ds_1 x) \cos(ds_2 x) + \cos(ds_1 y) \cos(ds_2 y) + \cos(ds_1 z) \cos(ds_2 z)$$

и принять плоскость $(r ds_2)$ за плоскость (xy) и направление r за ось x , то и

$$\cos \varepsilon = \cos \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos \eta$$

и

$$F = \frac{I_1 I_2 ds_1 ds_2}{r^n} [\cos \varepsilon - (1 - k) \cos \theta_1 \cos \theta_2].$$

Для определения n и k Ампер использует результаты следующих экспериментов. На специальном станке подвешен круговой ток O_I , могущий свободно вращаться вокруг вертикальной оси. Этот ток помещён между двумя неподвижными круговыми токами O, O_{II} . Радиусы токов O, O_I, O_{II} относятся, как 1 : 2 : 4 (рис. 203). По всем трём контурам пропускается один и тот же ток такого направления, чтобы подвижной ток отталкивался неподвижными токами O_{II} и O . Ток O_I будет в равновесии, когда его центр будет удалён от центра O_{II} на расстояние вдвое больше, чем от центра O . Если мы обозначим элемент длины тока O через ds_0 , тока O_I через ds_1 и тока O_{II} через ds_2 , то, очевидно, при данном отношении радиусов

$$ds_1 = 2ds_0, \quad ds_2 = 4ds_0.$$

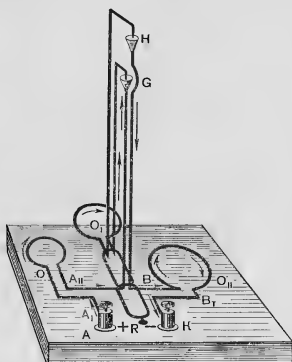


Рис. 203. Взаимодействие круговых токов.

тому контуру ds_1 и приравнивая нулю составляющую полученной полной силы, параллельную ds_2 , можно найти уравнение для определения k . Прделанное Ампером вычисление даёт

$$2k + 1 = 0, \quad k = -\frac{1}{2}.$$

И окончательно формула Ампера для взаимодействия элементов тока принимает вид

$$F = \frac{I_1 I_2 ds_1 ds_2}{r^2} \left(\cos \varepsilon - \frac{3}{2} \cos \theta_1 \cos \theta_2 \right).$$

Основной порок как формулы Ампера, так и последующих попыток (вплоть до Вебера) найти элементарный закон взаимодействия тока, заключается в том, что решение задачи не однозначно. Из экспериментов с замкнутыми токами нельзя вывести единственной формы элементарного закона. Та форма закона, которая была найдена впоследствии и оправдывается в опытах с движущимися электронами, отличается от формулы Ампера¹. Но для замкнутых токов обе формулы дают совершенно одинаковый результат, ибо отличаются между собою на величину, которая при интегрировании по замкнутому контуру даёт нуль. Разложение действия тока на элементы не эквивалентно разложению притяжения тела на притяжения его элементов.

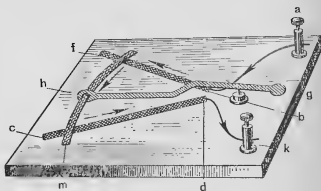


Рис. 204. К выводу Ампера.

¹ См. Г а м м, Основы теории электричества, Гостехиздат, 1955.

Вполне понятно, что основные предпосылки теории Ампера подвергались критике. Но даже критикам не было ясно, что речь идет о коренном отходе от ньютоновской механики, что в физику вторгается новая область, новый объект физического исследования — электромагнитное поле, так же, как это случилось, когда на смену ньютоновской оптике пришла оптика Юнга — Френеля.

Ампер сводил явления магнетизма к электричеству. И в этом пункте его воззрения подвергались критике. Подавляющее большинство физиков, в том числе и сам Эрстед, и далее Берцелиус, Био считали, что суть явления заключается в том, что ток разлагает магнетизм. Био полагал, что при прохождении тока происходит молекулярное намагничивание. Насколько это воззрение было глубоким, можно судить по тому, что когда в 1821 г. Зеебек (1770—1831) открыл термоэлектричество, он исходил из идеи, что магнетизм может быть возбуждён контактом разнородных металлов. Присоединяя *нажатием пальцев* концы проволоки мультипликатора к соприкасающимся пластинкам из меди и висмута, он заметил отклонение стрелки. Холодная влажная рука не давала отклонения, тогда как нажатие тёплой рукой даже через стекло давало отклонение. Зеебек сделал правильный вывод, что причиной является разность температур, и назвал открытое им явление «*термомагнетизмом*». Эрстед и Фурье, повторяя опыты Зеебека, открыли, как они полагали, и разложение солей, поэтому они предложили назвать новое явление термоэлектричеством. Зеебек долго возражал против этой терминологии.



Франсуа Араго.

Ещё одно явление, открытое всё тем же Араго, казалось, подтверждало мысль о разложении или индукции магнетизма в проводниках. В ноябре 1824 г. Араго доложил академики, что качающаяся магнитная стрелка успокаивается быстрее, когда под неё подводится медная или другая металлическая пластинка. А 7 марта он доложил о ещё более замечательном эффекте: при вращении металлической пластинки магнитная стрелка, находившаяся под ней или над ней, также начинала вращаться. Это явление было названо «магнетизмом вращения». Тот же Араго заметил, что «магнетизм вращения» отличается от обычного магнетизма: стрелка, помещённая на чашке весов, не притягивается к вращающемуся диску, а следует за ним. Ещё раньше, в 1821 г., Фарадей открыл электромагнитное вращение, и независимо от него Ампер осуществил вращение тока магнитом в том же году. Ставилось ясным, что найден новый вид взаимодействия, однако только Фарадею удалось вскрыть сущность новой физической связи.

Прежде чем перейти к характеристике дальнейших успехов гальванизма, связанных с получением новых индикаторов и измерителей тока, мы должны остановиться на биографии Араго.

Араго играл важную роль во всех достижениях революционной и послереволюционной французской физики. Он заканчивал после смерти Мешена и отъезда Био градусное измерение в Испании. Он активно участвовал в астрономических исследованиях и был сотрудником и учеником Лапласа. Он вместе с Френелем закладывал основы новой оптики и вместе с Ампером — основы электродинамики. Его ближайшими друзьями были

Гей-Люссак и Малюс. Араго, исполняя в качестве неперменного секретаря должность биографа умерших членов академии, был живым историографом рассматриваемого нами этапа истории физики.

Нам неоднократно приходилось обращаться к его замечательным биографиям, так же как это приходилось делать и предыдущим историкам науки. Вот почему в Пантеоне великих физиков конца XVIII — начала XIX в. наряду с именами Лапласа, Френеля и Ампера следует поместить и имя Араго, имя их сотрудника и биографа.

Франсуа Доминик Араго родился 26 февраля 1786 г. в селении Эстажеле в департаменте Восточных Пиреней. «Отец мой, — говорит Араго, — бакалавр прав, владел небольшою нахотною землей, виноградником и оливковою плантациею, и доходами с них содержал своё многочисленное семейство». Итак, по своему происхождению Араго принадлежал к сословию адвокатов и к тем землевладельцам, которые были опорой и буржуазной революции и наполеоновского режима. Но Араго не был ни бонапартистом, ни роялистом, ни якобинцем. Он был «независимым либерально-демократическим буржуа».

Близость к испанской границе, к которой всё время подводились французские войска, сыграла в биографии Араго немаловажную роль. С детства Араго дышал атмосферой войны, он неоднократно пытался убежать вслед за войсками, и после встречи с военным инженером — выпускником Политехнической школы — ревностно принялся за изучение математических наук (до этого Араго изучал классиков). Во Франции тех времён война и точные науки были связаны тесными узами. В Тулузе Араго блестяще выдержал трудный вступительный экзамен, не менее блестящим был его успех на переходном экзамене, на котором он покорила знаменитого Лекандре. Интересный эпизод разыгрался в школе, когда Наполеону присваивался титул императора: многие учащиеся, в числе которых был и Араго, протестовали против акта уничтожения республики. Начальник школы донёс о настроениях учащихся Наполеону. Предоставим слово Араго:

«Господин Лакюз (начальник школы)! — вскричал Наполеон посреди придворных, одобрявших его и словами и жестами, — вы не можете терпеть воспитанников, высказавших столь горячую привязанность к республиканизму: выгоните их». Потом, одумавшись, Наполеон прибавил: «Сперва я хочу знать их имена и их успехи». Взглянув на другой день на список, он остановился при первом имени (Араго), которое стояло первым по артиллерии. «Я не могу выгнать первых воспитанников, — сказал император, — жаль, что они не последние. Г. Лакюз, оставьте это дело».

Когда умер Мешен, Араго по предложению Пуассона был назначен его преемником. Но Араго не оставил своих юношеских надежд на военную карьеру и поэтому не обнаруживал особой склонности к этой научной командировке. Понадобилось содействие Лапласа, чтобы Араго принял предложение, однако он выговорил себе право поступить в дальнейшем в артиллерию.

В начале 1806 г. Араго вместе с Био выехали в Испанию. Комиссарам Комиссии долгот приходилось вести опасную жизнь, мужество и выдержка неоднократно выручали Араго. Но француз Араго сумел оценить вольнолюбивый и угнетённый испанский народ. «О, как много силы в испанском народе!», восклицает он, описывая свои приключения в Испании.

Когда в Испании вспыхнула война против французских захватчиков, Араго был посажен в тюрьму. В тюрьму Араго, по его словам, «добрался в добром здоровье, но с лёгкою раною в ляжку». Так велика была ненависть испанцев к французам. Прочитав в заключении статью в журнале, описы-

вавшую, как бы повешен Араго, Араго понял, что надо бежать из тюрьмы. Побег состоялся, и 3 августа 1808 г. Араго прибыл в Алжир. Французский консул снабдил Араго и бежавшего с ним другого француза Бартемье фальшивыми паспортами и на марокканском судне они отплыли во Францию. Вблизи Марселя судно было захвачено испанским фрегатом. В плену Араго думал прежде всего о спасении результатов измерений, которые он носил под рубашкой, однако английский капитан, которого он просил передать рукопись в Королевское общество, отказал ему в содействии.

После длительных и опасных приключений в июле 1809 г. Араго прибыл во Францию. Повидав в Першиньяне родных, Араго уехал в Париж, где Комиссии долгот и Академии наук представил свои наблюдения, сохранившиеся мною среди опасностей и тревожностей продолжительного страствования». 18 сентября 1809 г. двадцатитрёхлетний Араго был избран академиком.

После смерти Фурье, 7 июля 1830 г. Араго был избран непререкаемым секретарём академии. Этому обстоятельству история науки обязана цепью биографиями великих учёных: Юнга, Вольты, Монжа, Карно, Френеля, Ампера, Уатта, Кондорсе и других. С 1831 г. Араго отдаётся политической деятельности, сначала как член парламента, а в дни революции 1848 г. в качестве морского и военного министра. Убеждения Араго были прогрессивными. Он выступал за демократическое изменение избирательного закона и отказался принести присягу Луи-Наполеону. Но, конечно, Араго не был революционером. Он сам говорил, что он «друг прогресса», но не желает прогресса среди бури.

«Я хочу прогресса постоянного, правильного, без потрясений, без насилия». Это был истинный сын *буржуазной революции*, которую он считал законченной и не желал ни крайностей якобинцев, ни крайностей монархистов. Умер Араго 2 октября 1853 г. Сочинения Араго многочисленны и разнообразны. Он занимался астрономией, оптикой, электромагнетизмом, геофизикой, писал «Историю паровых машин» и «Популярную астрономию», о железных дорогах, артиллерии, на политические темы. О важнейших его открытиях в истории физики мы уже говорили выше.

Открытие связи между электричеством и магнетизмом, помимо своего крупнейшего научно-принципиального значения, означало также приближение эпохи технических приложений электричества. Сын сапожника, артиллерист Вильям Стёрджен (Sturgeon, 1783—1850) изобрёл электромагнит. Об этом изобретении он доложил 23 мая 1825 г. обществу ремёсел, представив одновременно коллекцию своих электромагнитов.

Электромагниты Стёрджена были изготовлены из лёгкого железа (стержень длиной 1 фут и диаметром 0,5 дм, покрытые для изоляции лаком). На сердечник навивалась голая толстая проволока. Американский физик Джозеф Генри (1799—1878), задавшись целью «получить наибольшую магнитную силу», усовершенствовал изобретение Стёрджена, применив обмотку из проволоки, изолированной шёлком. Электромагниты Генри обладали подъёмной силой до 1 т. Ему же удалось осуществить первый электрический звонок, в котором роль молоточка играла магнитная стрелка. Изобретения Генри производили сильнейшее впечатление на современников, им казалось удивительным, как из малой силы (от одного элемента) «развивается такое неслыханное притяжение на полюсах магнита» (Бернелиус).

Русская наука по праву может гордиться тем, что она сыграла первостепенную роль в развитии новой отрасли техники. Важнейшие открытия в этой области были сделаны русскими учёными. Генри говорит о себе, что он «первый намагнитил кусок лёгкого железа на расстоянии и первый об-

ратил внимание на то, что это явление может быть применено для телеграфа». Но прежде чем был изобретён электромагнит, русский дипломат Павел Львович Шиллинг (1786—1837) взрывал на расстоянии мины посредством электрического тока (на манёврах под Красным в 1827 г.). Через пять лет после этого Шиллинг построил действующий телеграф с магнитными стрелками. Его изобретением заинтересовалось английское правительство, пытаясь купить патент, но Шиллинг отказался продать своё детище иностранцам¹. В дальнейшем мы рассмотрим специально вопросы роли русской физики в развитии учения об электричестве.

Наступила пора и для установления количественных закономерностей в гальванической цепи. Уже в начале XIX в. была подмечена роль пло-

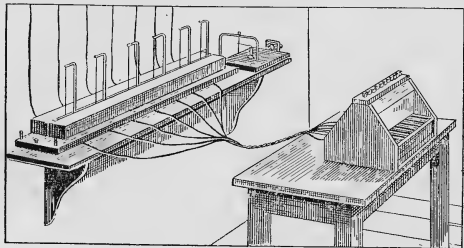


Рис. 205. Телеграфный аппарат Шиллинга.

щади пластин в увеличении действия вольтовой батареи и роль соединительной проволоки. Особенно замечательны в этом отношении опыты Дэви 1821 г. Дэви включал параллельно проволоку и сосуд для электролиза воды. Когда проводимость проволоки становилась большой, вода в сосуде переставала разлагаться. Дэви установил, что проводимость проволоки зависит от температуры (падает с увеличением температуры), от вещества (Дэви нашёл следующий ряд, в котором материалы расположены в порядке убывания проводимости: серебро, медь, свинец, золото, цинк, олово, платина, палладий, железо) и от площади поперечного сечения. Беккерель в 1825 г. подтвердил результаты Дэви.

В том же 1825 г. вопросом о проводимости занялся Георг Симон Ом (16 марта 1787 г.—7 июля 1854 г.). В своих исследованиях Ом своеобразно применил метод Кулона. Расположив соединительную проволоку (по обычной в то время практике роль клеммы играли ртутные контакты) в направлении магнитного меридиана, он помещал над ней магнитную стрелку, подвешенную на нити, и закручиванием нити удерживал её в не-отклонённом положении; величиной угла кручения измерялась отклоняющаяся сила тока. Помещая стрелку над различными участками цепи, Ом установил, что угол кручения оставался постоянным, и тем самым доказал постоянство «силы тока» в различных участках цепи. Далее он установил, что сила тока убывает с увеличением длины провода, с уменьшением его площади поперечного сечения, с изменением вещества и нашёл ряд веществ

¹ Англичанин Кук взял патент на стрелочный телеграф, заимствованный у Шиллинга.

в порядке возрастания «сопротивления». Термин «сопротивление» принадлежит Ому, ему же принадлежит термин «сила тока», хотя Ампер также предложил различать «силу тока» и «напряжение».

Так как гальванический элемент обладает переменным действием, то, по совету Поггендорфа, Ом заменил источник термоэлементом, состоящим из висмутового стержня с припаянными к нему медными стержнями. Один стержень погружался в кипящую воду, другой — в тающий лёд. Концы стержней опускались в ртутные контакты чашечки. В результате своих измерений Ом пришёл к выводу, что полученные им числа можно выразить уравнением

$$X = \frac{a}{b+x},$$

где X обозначает силу магнитного действия на проводниках, x — их длину, а величины a и b — постоянные, зависящие от возбуждающей силы и от сопротивления прочих частей цепи (Schweiger's journal, 1826 г., стр. 151). В следующем, 1827 г. вышла основная работа Ома «Гальваническая цепь, разработанная математически д-ром Г. С. Омом».

В этой работе Ом впервые сознательно уподобляет движение электричества тепловому потоку и потоку воды. Роль «надежды» температур или разности высот играет вольтовская разность напряжений. Эту разность напряжений Ом измеряет электроскопом. *Руководствуясь такими наглядными представлениями, Ом и установил свой знаменитый закон, носящий его имя.*

Следует отметить, что признание этого закона физиками затянулось, и неясная сбивчивая терминология гальванизма продолжала существовать ещё долго.

Заключительные
замечания.

На этом мы закончим обзор периода преобладания французской физики. Подведём кратко итоги этого полувекowego этапа развития науки.

Как известно, рассмотренный нами период был периодом важнейших исторических событий: французская революция, наполеоновские войны, период реакции, революция 1830 г., дальнейшее развитие капитализма в Англии, Франции и Америке, развитие техники, в том числе и перестройка транспорта (паровозы и пароходы) — такова работа «крота истории» за этот период. Приближалась эпоха выделения рабочего класса из буржуазной демократии, эпоха возникновения самостоятельного рабочего движения.

В этот период окончательно определилось лицо буржуазной науки, её цели и задачи. Наука активно содействует укреплению буржуазного строя, росту капиталистической индустрии. А в крупной промышленности завершается начавшийся ещё в мануфактурный период процесс отделения интеллектуальных сил производства от ручного труда. Араго в своей речи об Уатте вынужден был выступить как адвокат капиталистической науки в защиту технического прогресса, против движения «разрушителей машин» (в форме этого движения выражался протест трудящихся против превращения их в слепое орудие труда, в придатки к машинам). В числе



Георг Симон Ом

многих его аргументов мы находим такой важный, как указание на рост рабочего класса с прогрессом техники. «Когда остроумный престоиский цирюльник Аркрайт, который — скажем мимоходом — оставил своим детям ежегодный доход от двух до трёх миллионов франков, ещё не заменил вертящимися цилиндрами пальцы прях, тогда английские мануфактуры бумажных изделий производили ежегодно только на пятьдесят миллионов; ныне вырабатывают они более девяносто миллионов.

В одном Ланкастерском графстве, на мануфактурах миткаля, употребляют ежегодно такое количество ниток, которое не могут напирать двадцать один миллион искусных прях. Механические прядильни доведены ныне до крайнего совершенства, а между тем они употребляют полтора миллиона работников; до изобретений же Аркрайта и Уатта работало на них только пятьдесят тысяч»¹.

Разумеется, Араго не может сделать тех выводов из этого факта, какие сделали Маркс и Энгельс: вместе с ростом крупной промышленности растёт, консолидируется рабочий класс — могильщик капитала. Но, защищая буржуазную науку и технику, в 1834 г. Араго несомненно выступал как прогрессивный деятель, и самый факт развития этой науки и техники был прогрессивным фактом. *Формирование прогрессивной буржуазной науки* — таков важнейший итог этого периода.

Но подобно тому, как диалектический ход экономического развития был таков, что одновременно с ростом капитала рос и его могильщик — рабочий класс, ход развития науки был таков, что её прогресс создавал предпосылки для создания нового социалистического мировоззрения, в корне противоположного буржуазному.

В истории физики рассматриваемого периода прогресс находит своё выражение в следующих фактах:

1) Открытие химических, тепловых, световых и магнитных действий электричества.

2) Победа волновой теории в оптике.

3) Возникновение атомистической химии.

Старое ньютоновское застывшее мировоззрение рушилось. Учение о всеобщей связи явлений вторгалось в классическую физику.

¹ А р а г о, Сочинения, т. III, стр. 101—102.

ОТ ФАРАДЕЯ ДО МЕНДЕЛЕЕВА

(1830—1869 гг.)

Вступительные
замечания.

«Промышленная революция имеет для Англии то же значение, что политическая революция для Франции и философская для Германии, и разница между Англией

1760 г. и Англией 1844 г., по меньшей мере, столь же велика, как и разница между Францией старого порядка и Францией после июльской революции. Но самым важным детищем этого промышленного переворота является английский пролетариат»¹.

Этими словами Энгельса уместно начать главу о великом сыне английского рабочего класса — Михаиле Фарадее. Глубокое символическое значение можно усмотреть в том обстоятельстве, что последний, переломный этап классической физики связан с именем Фарадея. Этот этап в истории человечества характеризуется выходом на историческую сцену пролетариата, возникновением самостоятельного рабочего движения. Знаменитое движение чартистов в Англии, рабочие революционные выступления во Франции и других странах Европы в 1848 г. явились конкретным выражением этого всемирно-исторического факта. В молодом буржуазном строе, «разумном» строе, основанном на «естественном» праве, обнаруживаются серьёзные противоречия. Ужасающая нищета и бесправие английского рабочего класса, которая с такой яркостью рисуется в романах Диккенса, была тем фоном, на котором «мирно», по словам буржуазных историков², росло экономическое могущество буржуазной Англии. Противоречия труда и капитала, буржуазии и пролетариата со всей отчётливостью вырисовываются в период «бурь и революций» (1848—1871). К концу этого периода «до-марковский социализм умирает. Рождаются самостоятельные пролетарские партии»³.

Во всех этих бурях и сложных зигзагах исторического процесса материализм являлся передовой философией, вооружающей духовно прогрессивные классы. «В течение всей новейшей истории Европы, — говорит Ленин, — и особенно в конце XVIII в. во Франции, где разыгралась решительная битва против веяческого средневекового хлама, против крепостничества в учреждениях и в идеях, материализм оказался единственной последовательной философией, верной всем учениям естественных наук, враждебной суевериям, ханжеству и т. п.»⁴.

¹ Энгельс, Положение рабочего класса в Англии, Соч., т. III, 1929, стр. 314.

² Лависси Рамбо, История XIX в., Соцэкгиз, 1938, т. 5, стр. 398. «Со времени проведённых сэром Робертом Пилем реформ рабочие мирно улучшали своё положение путём соглашений с хозяевами».

³ В. И. Ленин, Избр. сочинения, т. I, 1946, стр. 49—50.

⁴ Там же, стр. 43.

Мы видели в предыдущих главах, что механистический материализм сыграл огромную роль в развитии естествознания и материалистическая французская физика заняла ведущее место в науке. Но на новом этапе исторического прогресса механистический материализм оказался недостаточным. В этот период возникает новое передовое мировоззрение — *марксизм*. «Философия Маркса есть законченный философский материализм, который дал человечеству великие орудия познания, а рабочему классу — в особенности»¹.

Если материализм XVIII в. опирался на достижения современной ему науки, в первую очередь механики Ньютона, то философский материализм Маркса—Энгельса ещё более глубоко использовал и обобщил данные естествознания нового времени. На смену механистическому материализму пришел *диалектический материализм*. Это передовое мировоззрение вооружило и вооружает практиков общественной и научной деятельности новым подходом к явлениям природы и общества — *марксистским диалектическим методом*.

Первый этап посленьютоновской классической физики, рассмотренный нами, характеризовался метафизическим подходом к явлениям природы. Мир расчленялся на отдельные, не связанные области. Такова была физика невесомых. Но уже в конце периода преобладания французской физики стала выявляться несостоятельность такого подхода. Важнейшим фактом, противоречащим метафизическому подходу, явилось открытие электромагнетизма. Открытие закона сохранения энергии и замечательные открытия Фарадея — вот те решающие достижения физики рассматриваемого нами периода, которые сделали отказ от старого метафизического подхода неизбежным.

Интересно отметить, что гениальный Фарадей в своих исследованиях стихийно руководствовался идеей о всеобщей связи явлений и таким путём пришёл к своим великим достижениям.

Неизменные виды в ботанике и зоологии, неизменная солнечная система в астрономии, однажды созданный мир — таковы были основные черты мировоззрения XVIII в. Появление космогонических гипотез, возникновение исторической геологии, наконец, теория эволюции в биологии — вот те новые достижения естествознания, которые разрушали обветшавшее метафизическое мировоззрение, в которых нашла свое отражение эта идея.

В самую эту идею вносятся новый момент — наличие в природе (так же как и в обществе) скачкообразных переходов.

Учение о непрерывности изменения (механическое движение) было краеугольным камнем классической физики. «Природа не делает скачков», — таков был наиболее живучий тезис метафизического метода в естествознании. Но уже в физике прошлого периода начали обнаруживаться факты скачкообразных переходов. Сюда в первую очередь относится открытие постоянных точек плавления и кипения. Но особенно важный материал дала *химия*. Законы Дальтона и его атомистика ярко продемонстрировали наличие глубоких качественных изменений при дискретных количественных изменениях. Недаром Энгельс писал, что «химию можно назвать наукой о качественных изменениях тел, происходящих под влиянием изменения количественного состава»². Особенно важное значение имел открытый в 1869 г. Менделеевым периодический закон. Сюда же относятся исследования Фарадея по электролизу, явившиеся зерном будущей электрохимической теории.

¹ В. И. Ленин, Избр. сочинения, Госполитиздат, 1946, т. I, стр. 45.

² К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. XIV, стр. 528.

Уже из этого беглого обзора видно, какие глубокие принципиальные изменения происходили в истории естествознания в рассматриваемый период. Это был период возникновения нового метода, нового подхода к явлениям природы. И, если к концу периода старые «классические» методы ещё торжествуют, то это происходит потому, что классовая позиция деятелей буржуазной науки не позволяет им сознательно оценить и освоить новое теоретическое мышление. Характерно, что выдающиеся достижения физики этого периода, подтачивающие устои старого мировоззрения, были сделаны простыми людьми, не цеховыми учёными и не при содействии этих последних, а, наоборот, при яростном противодействии.

Врач Майер, пивовар Джоуль, инженер Кольдинг, врач Гельмгольд обосновывали закон сохранения энергии и боролись за его признание. К деятелям нового типа принадлежал и переплётчик Ф а р а д е й.

Жизнь Фарадея. «Я люблю посещать здешние кузницы...», — писал в 1841 г. Фарадей в своем швейцарском дневнике (после напряжённой работы он три месяца отдыхал в Швейцарии) и объяснял причину такого пристрастия, — отец мой был кузнец». В семье лондонского кузнеца Джемса Фарадея родился 22 сентября 1791 г. будущий великий учёный. Он был третьим ребенком, старше его на десять лет была сестра Елизавета и на три года брат Роберт, унаследовавший профессию отца. Мать Фарадея была простая необразованная женщина, но любящая, трудолюбивая жена и мать. «Для мужа и детей никакая работа не казалась ей тяжёлой», указывает биограф Фарадея Бенс Джонс. Отец Фарадея умер в 1810 г., а мать дожила до счастливого времени, когда её сын стал мировым учёным, и очень гордилась его заслугами. Умерла она в 1838 г. Эго была простая, трудолюбивая семья, воспитавшая в детях любовь к труду, рабочую честность и гордость.

Скудные достатки семьи не давали возможности дать детям образование. Фарадей не закончил и начальной школы. Двенадцати лет от роду его отдали в ученики к владельцу книжной лавки и переплётной мастерской Жоржу Рибо. Здесь Фарадей вначале занимался разноской книг и газет, о чём часто вспоминал впоследствии. «Я всегда чувствую симпатию к этому юнцу (т. е. газетчику), ибо я сам некогда разносил газеты». В даль-



Майкл Фарадей.

нейшем Фарадей изучил в мастерской хозяина переплётное ремесло, став искусным переплётчиком. Эту свою профессию Фарадей также никогда не забывал. Путешествуя за границей, он не упускал случая изучить там постановку переплётного дела, сам переплетал свои рабочие дневники, а под старость перешёл в большой том свои почётные дипломы.

Работая в мастерской переплётчика, Фарадей много и жадно читал, стремясь восполнить пробелы своего недостаточного образования. Особенно большое впечатление произвели на него статьи по электричеству в «Британской энциклопедии» и книга «Беседы по химии» г-жи Марсе. Майкл (Михаил) организовал домашнюю химико-физическую лабораторию и проделал описанные в этих книгах опыты.

В то время в Лондоне были в большом ходу частные вечерние и воскресные лекции с образовательной целью. Майкл стал посещать лекции по натуральной философии (физике и астрономии) некоего г-на Тэтума, причём пилинг на оплату лекции давал ему каждый раз старший брат, кузнец Роберт, поощрявший в младшем брате стремление к знанию. Впоследствии Роберт никогда не упускал случая посещать лекции в Королевском институте своего знаменитого брата, и, так же как и мать, гордился своим Майклом. На этих лекциях Фарадей познакомился с служащим одной конторы Бенджаменом Аботтом и студентом Гекстеблем. Они стали друзьями юного переплётчика и охотно помогали его самообразованию. Фарадей много пишет своим друзьям, просит их отмечать орфографические и стилистические ошибки и упорным трудом вырабатывает свой замечательный по простоте и ясности стиль.

Для характеристики нравственного облика Фарадея здесь будет уместно указать на одну его черту. Фарадей, всю жизнь жаловавшийся на плохую память, никогда не забывал ни о своей среде, ни о тех людях, которые помогали ему на жизненном пути. Он писал тёплые благодарственные письма г-же Марсе, с благодарностью вспоминал о друзьях юности и, несмотря на то что Дэви (о чём мы скажем ниже) часто бывал несправедлив и нетактичен по отношению к нему, Фарадей всегда помнил и о научных заслугах Дэви, которые он оценивал очень высоко, и о том, чем он ему обязан.

С Дэви Фарадея свела та же переплётная мастерская, клиентом которой был член Королевского общества Дэнс (Dence). Заинтересовавшись любознательным юношей, Дэнс доставил ему возможность прослушать четыре последние лекции Дэви в Королевском институте. Это было переломным моментом в жизни Фарадея. Наступил 1812 г., кончался срок учения Фарадея, он должен был стать самостоятельным мастером. Но карьера переплётчика не улыбалась ему, его манила наука, которая, как он думал, «делает своих молодых служителей хорошими и глубококомыслящими»... «Это желание побудило меня, наконец, сделать смелый и важный шаг и написать сэру Г. Дэви. Я выразил своё желание, равно как и надежду, что при случае он его удовлетворит. Вместе с тем я послал ему записку его лекции»¹.

Дэви откликнулся на письмо Фарадея. Вероятно, его тронула наивная и горячая любовь юноши к науке. Может быть, им руководил и расчёт использовать эту искреннюю преданность.

Может быть, он вспомнил и своё детство, когда его отправляли в ученье к резчику по дереву. Как бы то ни было, Дэви ответил любезным письмом

¹ Тетрадь лекций, каллиграфически переписанных, была тщательно переплетена Фарадеем.

и в начале следующего, 1813 г. пригласил Фарадея на освободившееся место ассистента в Королевском институте. Но он постарался рассеять иллюзии неопытного Фарадея и насчет его будущего существования (если таковые были у Фарадея) и насчет идеализации учёной среды.

«Помогая мне в осуществлении моих стремлений к науке, он вместе с тем предупреждал не бросать прежнего места; он говорил, что наука — особа чёткая, что она в денежном отношении лишь скупо вознаграждает тех, кто посвящает себя служению ей. На моё замечание о возвышенных нравственных переживаниях людей науки он улыбнулся и сказал, что предоставит меня опыту нескольких лет, который в этом отношении исправит мои взгляды».

Действительно, ассистент Фарадей исполнял в лаборатории Дэви обязанности служителя и лаборанта, его эксплуатировала лэди Дэви в качестве слуги и лакея. Когда Дэви в октябре 1813 г. уехал в заграничное путешествие вместе с женой, Фарадей сопровождал их в качестве эконома и слуги. Трудно было молодому, хотя и скромному, но гордому ассистенту решиться на путешествие. Надо иметь в виду, что тогдашняя Европа была враждебна Англии, шла война с Наполеоном. Фарадей хорошо сознавал и то, в какой роли он едет с Дэви. Но чувство благодарности и всегдашнее стремление к расширению своего кругозора взяло верх. Фарадей поехал. Несмотря на возмутительное поведение лэди Дэви, которая всегда старалась «поставить Фарадея на своё место», молодой учёный завоевывал симпатии в европейском учёном мире.

Конечно, кругозор Фарадея в результате путешествия расширился, он увидел и узнал многое, познакомился с выдающимися учёными. Но всё же путешествие оставило в нём тягостное впечатление, ему пришлось переживать горечь утраты иллюзий. Вот отрывок из его письма Аботту, характеризующий настроения Фарадея:

«Как глуп я был, что оставил родину, тех, кого я любил и кто меня любил, на неопределённое время, которое, вероятно, продолжится долго, быть может, целую вечность. Что такое те прославленные блага, которые приобретаются путешествием? Знания! Конечно, знания света, людей и их отношений, знания о книгах и языках, знания о вещах, которые сами по себе, вообще, весьма ценны, но которые — я это вижу — ежедневно prostituteуются ради самых жалких целей. Как унижительно быть учёным, если это ставит тебя на одну доску с подлецами и плутами! Как отвратительно, если мы благодаря этому узнаём вокруг себя только мошенничества и обманы! И можно ли их сравнивать с теми, что учились только у природы, проходят по пути жизни счастливые, довольные, с незапятнанной честью и чистой совестью, добродетельные в своих помышлениях, постоянно стремясь к добру и презирая зло, относясь к другим так, как желают, чтобы другие к ним относились».

Таким было впечатление молодого рабочего от нравов и обычаев буржуазного учёного мира. Мы увидим далее, что ему пришлось столкнуться с клеветой и завистью. Насколько тяжело все это переживал Фарадей, видно из того, что он писал даже о своём намерении вернуться к ремеслу переплётчика. Но любовь к науке победила. Летом 1815 г. Дэви вернулся в Англию, и Фарадей вновь получил место ассистента с жалованьем в 30 шиллингов в неделю и квартирой при институте. Здесь он помогает Дэви в его химических исследованиях и начинает самостоятельную работу. В 1816 г. он образовал философское общество из бедных молодых энтузиастов науки, в котором впервые выступил в качестве лектора. Темой первых лекций Фарадея было: «Описание свойств, присущих материи, форм материи и простых веществ».

С того же 1816 г. начали печататься первые работы Фарадея, относящиеся к химии. Ему доверялось уже и редактирование (на время отъезда на капикулы Brande'a—редактора и зав. лабораторией) журнала института «Quarterly Journal of Science». Продолжая читать лекции в Философском обществе, Фарадей совершенствует форму изложения, работает над своей речью и в этих видах берёт уроки ораторского искусства.

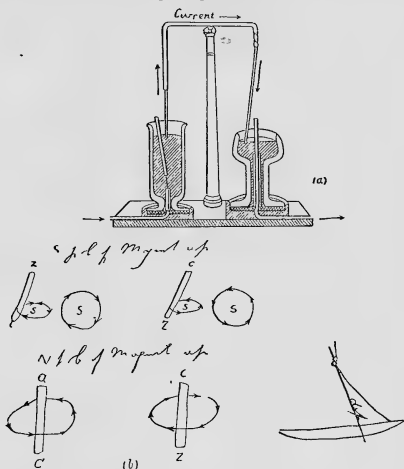


Рис. 206. Электромагнитное вращение (рисунок Фарадея).

В 1820 г. Фарадей женился на Сарре Барпар; этот брак принёс ему спокойствие и счастье. К этому же времени относится и важный поворот в его научной деятельности. Открытие Эрстеда, как мы уже говорили в предыдущей главе, взбудоражили учёный мир. Фарадей тщательно проверил все опыты и написал для «Quarterly Journal» исторический очерк по электромагнетизму. Ещё до публикации своих статей Фарадей знал о попытках Волластона получать электромагнитные вращения. Опыты Волластона оказались безрезультатными. Фарадей осуществил в сентябре вращение магнита вокруг тока и тока вокруг магнита, вместе с тем он показал, что его собственные попытки получить по идее Волластона вращение тока вокруг своей оси также потерпели неудачу. Фарадей хотел показать свою статью Волластону, но последний был в отъезде. Статья была опубликована в 1822 г. в «Гильбертовых аналах». Её появление вызвало неблагоприятные для Фарадея слухи, которого обвиняли в плагиате. Фарадей обратился с письмами к Волластону и Дэви, прося реабилитировать его. Волластон заявил, что он вполне удовлетворён объяснениями Фарадея, что же касается Дэви, то он, несмотря на своё обещание реабилитировать Фарадея,

сделал это в таких неопределённых выражениях, которые оставляли место для сомнений.

В это же время Фарадей получил жидкий хлор. И это открытие дало повод к обострению отношений с Дэви. Дело обстояло так. В отсутствие Дэви Фарадей получил хлоридрат и исследовал его свойства. Когда Дэви вернулся, Фарадей рассказал ему о своих опытах. Дэви посоветовал Фарадею нагреть хлоридрат в запаянной трубке. Фарадей последовал совету. В то время как он занимался этим, в лабораторию вошел д-р Парис. Он увидел в одной из трубок следы масла и упрекнул Фарадея, что тот работает с нечистыми трубками. Фарадей сам был поражён этим и немедленно начал исследовать «крамольную» трубку. Как только он отпилил у неё кончик, произошёл взрыв газа — и масло исчезло. Парис ушёл заштригованный и рассказал о случившемся Дэви. Утром Парис получил от Фарадея записку:

«Милостивый Государь! Масло, которое Вы вчера видели, оказалось жидким хлором. Совершенно преданный Вам М. Фарадей».

Дэви, придя утром в лабораторию и узнав о случившемся от Фарадея, тут же получил жидкий хлороводород и впоследствии при помощи Фарадея получил ряд других жидких газов.

Фарадей написал статью о жидком хлоре, к которой Дэви написал примечание, выставлявшее дело в таком виде, что идея метода принадлежала ему — Дэви, а Фарадей был техническим исполнителем.

В свете этих фактов становится понятным тот инцидент, который разыгрался два года спустя (в 1824 г.) при избрании Фарадея членом Королевского общества. Властоном был в числе лиц, подписавшихся под предложением представить кандидатуру Фарадея. Наоборот, Дэви, бывший тогда президентом общества, настойчиво убеждал Фарадея снять свою кандидатуру. «Я возразил, — говорит Фарадей, — что сделать этого не могу, потому что выставил её не я, а члены Королевского общества. Он замечал, что я должен побудить их взять своё предложение обратно. Я ответил, что заранее знаю, что они этого не сделают. Тогда он заявил, что сделает это как президент. Я ответил, что сэр Г. Дэви сделает, наверное, то, что он считает полезным для Королевского общества». Дэви агитировал против Фарадея, вспоминая и историю с Властоном. Однако Фарадей был избран всеми голосами против одного. Последний несомненно принадлежал Дэви.

Психологически поведение Дэви было понятно. Его научная карьера клонилась к зениту, а его вчерашний служитель шёл к мировой славе, которая далеко оставила за собой известность Дэви. Дэви несомненно это чувствовал. И по своему характеру, и по своей манере работать эти два человека были антиподами. Дэви были неприятны успехи Фарадея, в нем говорило мелкое чувство зависти, сменившее бывшее чувство сознания собственного превосходства. Но всё же Дэви был слишком крупным человеком, чтобы долго поддаваться мелким чувствам.

Он понял значение Фарадея ещё до того, как тот сделал свои наиболее знаменитые открытия, и любил говорить, что самым значительным его открытием было то, что он открыл Фарадея. В свою очередь Фарадей никогда не упускал случая поздать должное Дэви. «Это был великий человек», — сказал он однажды химику Дюма, заговорившему с ним о слабостях Дэви.

В 1827 г. Фарадей получил профессорскую кафедру в Королевском институте после Бранда, который в своё время заменил Дэви. К своим лекциям Фарадей готовился очень тщательно, и они пользовались большим успехом. Весь этот период он напряжённо работал над разрешением записанной в его дневнике за 1821 г. задачи: «превратить магнетизм в электричество».

В августе 1831 г. десятилетние напряжённые труды Фарадея увенчались успехом: была открыта электромагнитная индукция. С этого года в «Phil. Trans.» стали печататься знаменитые «Опытные исследования по электричеству» (Experimental researches in electricity), составившие тридцать серий с более чем 3000 параграфами. Этот великолепный памятник научного творчества Фарадея представляет единственное и неповторимое научное произведение, в котором пахли своё отражение воззрения, мысли и труды великого учёного. Первая серия посвящена электромагнитной индукции. Последняя, тридцатая серия, посвящённая законам намагничивания, вышла в 1855 г. Двадцатичетырёхлетняя работа Фарадея запечатлена в этих сериях. Они составляют и биографию Фарадея. Его жизнь делилась между верхним (квартира) и нижним (лаборатория) этажами дома на Albermale Street.

Маленькая племянница, жившая в семье Фарадея (его брак был бездетным), впоследствии вспоминала, как её тетя (т. е. жена Фарадея), уходя из дому, сводила её вниз в лабораторию, где работал её дядя. «Но он часто останавливался возле меня, произносил приветливое слово или наклонялся ко мне и время от времени бросал в воду кусочек калия, для того чтобы мне доставить удовольствие».

В 1836 г. правление общества английских маяков привлекло для консультации Фарадея. Фарадей чрезвычайно много сделал для улучшения техники маяков и как физик и как химик. Рецепты анализа свинцовых белил и электромагнитные машины для освещения — таков диапазон деятельности Фарадея в этом направлении. Судьба дала ему возможность видеть замену лампового освещения в маяках электрическим.

Мы упомянули об этой стороне деятельности Фарадея потому, что она лежит вне его «экспериментальных исследований», что же касается его научной деятельности, а следовательно, и его жизни, то Фарадей оставил опять-таки беспримерную в истории хронологическую запись не того, что он сделал (это запечатлено в «исследованиях»), а того, от какого дела он отказывался, сберегая свои силы для науки. Из составленной им таблицы видно, что в 1834 г. Фарадей отказался от экспертиз и всяких приглашений на обеды и вечера;

в 1835 г. он отказался от служебных анализов;

в 1836 г. вышел из состава президиума института;

в 1837 г. отменил утренние лекции;

в 1838 г. решил три дня в неделю никого не принимать.

В самую последнюю очередь (1840—1841 гг.) отменены лекции для детей и так называемые «пятницы» — вечерние лекции. Фарадей очень ясно видел свои физические возможности и беспощадно ограничивал себя, нацеливая все свои силы только на одно — научное творчество. Мир удивляется его гениальным открытиям, но не менее удивительна его сила воли и целеустремлённость, побеждавшая все препятствия. Он постоянно жалуетса на плохую память. Вот он пишет Барлоу: «...Память сильно мешает мне: так, уже через день я не могу припомнить выводов, к которым пришёл накануне, и вынужден несколько раз повторить весь ход мыслей. Записывание тоже не помогает, ибо и в этом случае забываю... Я забываю, какими буквами изобразить то или другое слово».

Это письмо написано в 1857 г., когда Фарадей до Максвелла и Герца пытался получить электромагнитное действие на расстояние.

Потрясающе звучит написанное в 1862 г. его последнее письмо к другу, немецкому химику Шейнбейну: «Снова и снова я рву мои писания, я пишу чепуху (nonsense). Я не знаю, смогу ли я написать связно строчку. Я не

знаю, как долго продлится это тяжёлое состояние. Я не могу более ничего писать».

И в том же 1862 г. Фарадей ставит опыты, которые через 33 года привели Зеемана к его знаменитому открытию. Такова сила духа в этом великом человеке.

Фарадей умер 25 августа 1867 г. Генри, открытия которого были направлены на благо человечества (Гельмгольц был прав, говоря, что до тех пор, пока люди пользуются благами электричества, они всегда будут с благодарностью вспоминать имя Фарадея), умер честным и самоотверженным труженником. «Уже семидесятилетним стариком он совершает многочисленные, трудные и опасные путешествия, для того чтобы испытать действие различных способов освещения» (Оствальд). Когда друзья, озабоченные его судьбой, выхлопотали ему государственную пенсию и Фарадей явился по этому поводу к министру казначейства лорду Мельбурну, то последний, думая, что имеет дело с лакеем буржуазии, не преминул дать ему понять, что он смотрит на эти пенсии, как на подачки. Сын рабочего и сам рабочий, Фарадей ответил ему полным гордого достоинства письмом, в котором отказывался от всякой пенсии, и заставил покраснеть министра. Мельбурну пришлось просить извинения у Фарадея.

Таков был Фарадей, тихая и скромная жизнь которого полна глубокого внутреннего напряжения. Идеи, оставленные им, полны глубокого содержания. Приято оценивать его деятельность односторонне, с точки зрения «фарадеевских линий», физики эфира, физики электромагнитного поля, родоначальником которой действительно был Фарадей. Но он же был и родоначальником современной атомистики. Его идеи дали повод Гельмгольцу в знаменитой фарадеевской речи высказать смелую мысль о дискретности электричества.

По поводу газового разряда, научному изучению которого Фарадей положил начало, им пророчески сказано:

«Результаты, связанные с различными явлениями положительного и отрицательного разряда, повлияют на теорию электричества сильнее, чем мы теперь думаем».

История показала, что изучение газового разряда привело к открытию рентгеновских лучей, радиоактивности, изотопов, к современной физике атома. Таким образом современная физика развилась из великих открытий и идей Фарадея.

Труды
и воззрения.

Открытия Фарадея органически связаны с его воззрениями. Их история — это также история развития его глубоких и дальних идей. Мы начинаем эту историю

с фундаментального открытия электромагнитной индукции.

Уже в 1821 г. в дневнике Фарадея появляется запись: «*Преобразить магнетизм в электричество*». Мысль о тесной двусторонней связи электричества и магнетизма казалась ему совершенно очевидной, но конкретное воплощение идеи потребовало десяти лет напряжённого труда. Только 29 августа 1831 г. Фарадею удалось получить первый эффект: индукционный ток во вторичной обмотке при замыкании и размыкании тока в первичной обмотке. Этими опытами и началась первая серия его «Экспериментальных исследований»¹, в которой этот первый эксперимент описан следующим образом.

¹ Ф а р а д е й, «Экспериментальные исследования по электричеству», АН СССР, 1947, I серия: Индукция электрических токов; образование электричества из магнетизма; новое электрическое состояние материи; объяснение магнитных явлений Араго.

«10. На широкую деревянную катушку была намотана медная проволока длиной в 203 фута, и между витками её намотана проволока такой же длины, изолированная от первой хлопчатобумажной нитью. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, а другая — с сильной батареей, состоявшей из 100 пар пластин; медные пластинки и здесь были двойные. При замыкании цепи удавалось заметить выходящее, но чрезвычайно слабое действие на гальванометре, и то же самое замечалось при прекращении тока. При непрерывном же прохождении тока через одну из спиралей не удавалось отметить ни действия на гальванометр, ни вообще какого-либо индукционного действия на другую спираль, несмотря на то что нагревание всей спирали, соединённой с батареей, и яркость искры, проскакивающей между угольями, свидетельствовали о мощности батареи».

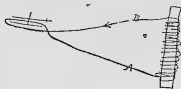


Рис. 207. Рисунок Фарадея к опыту с индукцией.

«12. Результаты, полученные мною в это время при опытах над магнитами, заставили меня предположить, что ток, проходящий через один провод, в действительности индуцирует такой же ток в другом проводе, но что продолжительность индуцируемого тока, однако, лишь мгновенна, и он сходен скорее с электрической волной, наблюдаемой при разряде лейденской банки, чем с гальваническим током».

Итак, первым открытием в длинной цепи явлений электромагнитной индукции было открытие *индукции токов*. Интересно отметить (а на это обстоятельство обычно не обращается внимания), что и самая терминология, употребляемая Фарадеем, и его аппарат указывают, что он, в отличие от современников, был глубоко убеждён в тождестве статического и гальванического электричества. Электростатическое влияние зарядов (электростатическая индукция) было известно давно, со времён Калтона, Вильке и Эпинуса, но индукции гальванической (индукции токов) никто не наблюдал. Впервые это было сделано Фарадеем.

Но ток, по Амперу, — это магнит, а магнит — это совокупность токов. Следовательно, можно, во-первых, получить намагничивание индукционным током, во-вторых, получить индукцию магнитом. «... Поэтому я предположил, — продолжает Фарадей, — что, несмотря на незначительность его действия на гальванометр, он мог бы намагнитить стальную иглу».

«13. Это предположение оправдалось».

Но индукция в электростатике определяется сближением и удалением проводников. Конечно, Фарадей понимал, что замыкание и размыкание тока соответствуют его приближению и удалению, однако он считал необходимым получить индукцию и движением проводников. «18. Однако так как можно было предположить, что особое действие ограничивалось исключительно актами замыкания и размыкания, то для проверки индукция была вызвана также и другим способом. Провод длиной в несколько футов был расположен на одной стороне широкой доски в форме буквы W и другой провод, точно такой же формы, был положен на другой доске так, чтобы оба провода соприкасались всеми своими точками при сближении досок, если бы между ними не был проложен лист толстой бумаги. Один из этих проводов был соединён с гальванометром, другой — с вольтовой батареей. Тогда приближение первого провода ко второму вызывало отклонение стрелки, а удаление — отклонение в обратную сторону. Если приближение и удаление проводов совпадали с колебаниями стрелки, то последние вскоре становились весьма заметными; при прекращении же движения проводов относительно друг друга колебания стрелки постепенно прекращались».

Фарадей полюбил, какое огромное поле исследования и приложений открылось перед ним. В письме Филлину от 23 сентября он писал: «Я теперь опять занимаюсь электромагнетизмом и полагаю, что напал на хорошую мысль, но я ещё ничего не могу сказать... Мне кажется, что я знаю, почему металлы становятся магнитными, когда они находятся в движении¹, и почему они не магнитны (в общем), когда находятся в покое».

Прежде всего Фарадей установил, что замена деревянного кольца в его исходном опыте железным сердечником в значительной степени усиливает эффект. При размыкании и замыкании тока в первичной спирали А (рис. 208), намотанной на железный сердечник, представляющий собой кольцо с внешним диаметром 6 дюймов, выкованное из железного стержня диаметра $7/8$ дм, во вторичной спирали В, соединённой с гальванометром, появлялся индукционный ток.

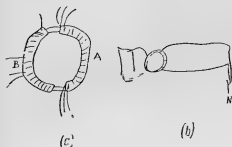


Рис. 208. Явление Араго (рисунок Фарадея).

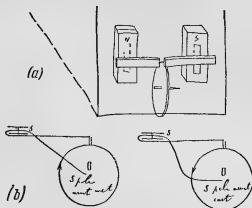


Рис. 209.

«28. Гальванометр мгновенно обнаруживал отклонение, причём оно было гораздо более значительное, чем в предыдущих случаях, в которых при батареях, в десять раз более мощных, применялись спирали без железа (п. 10)».

Изготовив цилиндрическую катушку (обмотка наматывалась на картонный цилиндр) с первичной и вторичной обмоткой, Фарадей наблюдал очень слабый индукционный эффект при замыкании и размыкании тока в первичной обмотке, питавшейся от сравнительно мощной батареи.

«34. При введении же внутрь картонного цилиндра другого цилиндра из мягкого железа толщиной $6\frac{7}{8}$ дюйма и длиной в 12 дюймов индукционный ток оказывал мощное действие на гальванометр...»

В дальнейшем этот опыт был осуществлён Фарадеем 17 октября. «39. Цилиндр из мягкого железа (п. 34) был заменён магнитом цилиндрической формы с диаметром $3\frac{1}{4}$ дюйма и длиной в $8\frac{1}{2}$ дюйма. Один конец этого магнита был коаксиально вдвинут в катушку. После того как стрелка гальванометра пришла в спокойное состояние, весь магнит целиком был сразу вдвинут в катушку. Стрелка гальванометра показала мгновенное отклонение... Если магнит оставался внутри катушки, то стрелка снова приходила в своё прежнее положение и при вынимании его отклонялась в противоположном направлении».

Любой преподаватель физики воспроизводит сейчас эти классические опыты с так называемой индукционной катушкой. Индукцию токов Фарадей назвал вольта-электрической индукцией, описанную же здесь индукцию магнитом — магнито-электрической индукцией. Получив большой

¹ Речь идёт об эффекте, открытом Араго. Вращающийся медный диск увлекал за собой магнитную стрелку.

подковообразный магнит Королевского общества, Фарадей разгадал тайну эффекта Араго и обратил явление. 28 октября он «заставил медный диск вращаться между полюсами подковообразного магнита Королевского общества. Ось и край диска были соединены с гальванометром. Стрелка отклонялась, как только диск начинал вращаться».

Таким образом, в 1821 г. Фарадей получил непрерывное вращательное движение электромагнитным путём, т. е. осуществил первый электродвигатель, а в 1831 г. им был построен новый источник электроэнергии, первая динамо-машина. Фарадей сознательно ставил задачу построения такой машины. Он прямо говорит:

«Получив электричество из магнита вышеописанным образом, я полагаю, что опыт г-на Араго *может стать новым источником получения электричества, и надеялся, что путем использования электрической индукции земного магнетизма мне удастся сконструировать электрическую машину*».

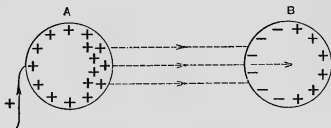


Рис. 210. Электрическая индукция.

Современная электротехника справедливо считает своим родоначальником Фарадея. С неменьшим правом и радиотехника датируется от

опытов Фарадея. Доклад об описанных здесь опытах Фарадей сделал 24 ноября, этот доклад и составляет содержание первой серии «Экспериментальных исследований». В п. 114 этой серии содержится закон, позволяющий определять направление индукционного тока в движущемся проводнике. Здесь уже отчётливо говорится о пересечении магнитных линий. Явление и правило Фарадея, правда, выраженное очень длинно, совпадает с правилом правой руки. В следующей, второй серии¹ Фарадей осуществил опыты индукции магнитным полем Земли и настолько проникся новым пониманием существа явления, что высказывает убеждение: «теоретически следует, повидимому, признать обязательным, что везде, где течёт вода, должны развиваться электрические токи».

Если мысленно представить себе линию, проведённую через море от Дувра в Кале, а затем обратно в земле под водой от Кале к Дувру, то эта линия охватит круг проводящей массы, часть которой пересекает магнитные кривые земли, пока вода течёт по каналу вверх и вниз, а другая часть останется в относительном покое. Имется основание полагать, что по главному направлению описанной линии будут идти токи в том или другом направлении, в зависимости от того, будет ли вода по каналу течь вверх или вниз».

Поэтому с полным правом ту формулировку закона электромагнитной индукции, в которой речь идёт о возникновении индукции при пересечении проводником магнитных силовых линий, называют фарадеевской. Из первых двух серий его «Исследований» она вытекает со всей ясностью и простотой. Но, как уже отмечалось, в той же первой серии содержатся мысли, подводящие его к исследованиям, составляющим содержание третьей серии. Представим себе процесс обычной электрической индукции. Пусть мы имеем шар А, заряжаемый от электрической машины положительным электри-

¹ Фарадей, «Экспериментальные исследования по электричеству», АН СССР, 1947. Серия II, Земная магнито-электрическая индукция; общие замечания и положения относительно силы и направления магнито-электрической индукции.

чеством. Тогда в соседнем изолированном шаре B начинается движение электричества в том же направлении, шар электризуется через индукцию так, что на ближайшем конце его будет заряд обратного знака (рис. 210).

Аналогичным образом, по Фарадею, обстоит дело и при вольта-электрической индукции. Если замкнуть цепь индуцирующего контура так, чтобы ток шёл в направлении от A к B , то в индуцируемом контуре появится ток в направлении от B к A , составляющий продолжение тока от A к B . Отсюда, говорит Фарадей, «явствует, что индукционные действия, вызываемые вольта-электричеством, до известной степени сходны с таковыми, вызываемыми электричеством напряжения» (т. е. статическим). Таким образом Фарадей полагал, что в открытом им явлении вольта-электрической индукции имеется свидетельство в пользу воззрения о единстве электрических сил. С другой стороны, он отмечал, что между электростатической индукцией и вновь открытыми им вольта-электрической и магнитно-электрической индукциями имеется и различие. Это различие проявляется в том, что новое индукционное состояние *временное*. Электростатический индукционный заряд сохраняется всё время, пока рядом находится влияющий заряд, новая же индукция, как неоднократно отмечает Фарадей, носит характер волны. В связи с этим Фарадей развивает мысль о новом так называемом «*электротоническом*» (т. е. электровозбуждённом) состоянии материи.

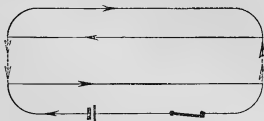


Рис. 211. К индукции токов.

«Когда проволока находится под действием вольта-электрической или магнитно-электрической индукции, она находится в особом состоянии, так как противодействует образованию в ней электрического тока, в то время как при обычных условиях индукции такой ток должен был бы возникнуть. При прекращении указанного особого состояния проволока обладает способностью возбуждать ток — способностью, которой она не обладает в обычном своём состоянии...»

«Это особое состояние есть, повидимому, состояние напряжения и может быть рассматриваемо, как эквивалентное току электричества, по крайней мере равное тому току, который получается, когда это состояние индуцируется или прекращается...»

«...Напряжение этого состояния, по всей вероятности, очень велико, но независимо от его величины трудно себе представить, чтобы наличие такого напряжения оказалось бы без влияния на первоначальный индуцирующий ток и не вызвало бы какого-либо рода равновесия...»

«...*электротоническое состояние относится не к массе, а к частицам индуцируемой проволоки или вещества и в этом отличается от индукции, производимой статическим электричеством. Если это верно, то это состояние может приниматься жидкостями и даже непроводниками без видимого наличия электрического тока; возникновение же тока является как бы случайностью, обязанной своим существованием проводящей способности моментального характера — движущей силе, обусловленной новым расположением частиц...*»

«...В электротоническом состоянии однородные частицы материи принимают правильное расположение в направлении тока, навязанное им электрическими силами. Если материя неразложима, это приводит по освобождению от электрических сил к возникновению обратного тока; в случае же раз-

ложимой материи это насильственное состояние может стать достаточным для того, чтобы заставить одну элементарную частицу оставить ту частицу, с которой она насильственно соединена, и соединиться с соседней такой же частицей, с которой она находится в более нормальных отношениях; тем самым насильственное электрическое расположение оказывается разряженным или освобождённым от электрических сил так же эффективно, как при прекращении индукции. Но так как voltaический ток продолжается, то электротоническое состояние моментально возобновляется и вызывает насильственное расположение составных частиц, а затем так же мгновенно разряжается благодаря переносу противоположных элементарных частиц в противоположных, но параллельных току направлениях».

Так намечается очередная программа исследований: доказательство идентичности электричеств, электропроводность и химическое разложение

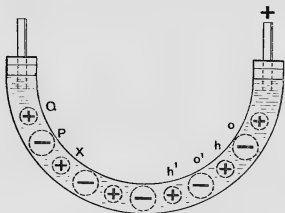


Рис. 212. К гипотезе Гротгуса.

жидкостей током, самоиндукция, роль вещества в электромагнитных процессах. А учение об электротоническом состоянии явилось тем зерном, из которого развились взгляды Фарадея об электромагнитном поле, конкретизируемом им с помощью представления о физических трубках сил.

Работы Фарадея об идентичности электричеств, составляющие содержание третьей серии «Экспериментальных исследований»¹, подвели его к актуальным проблемам того времени: природа тока, механизм проводимости.

происхождение электрического напряжения. В этих вопросах господствовала путаница и разногласия мнений. Так, например, считалось, что действие гальванических элементов на замыкающие их провода заключается в приведении частиц провода в особое расположение, что и обуславливает соответствующие эффекты в проводах. С этой точки зрения роль полюсов источника заключалась в том, что они являются центрами сил, действующих на частицы проводников или на электрические жидкости. Примером такого представления является теория Гротгуса (1785—1822) о механизме разложения воды. Молекула воды, по Гротгусу (рис. 212), обладает электрическими полярными свойствами: водород электроположителен, кислород электроотрицателен. Под действием полюсов молекулы располагаются таким образом, что электроотрицательный кислород повернётся к положительному полюсу, электроположительный водород — к отрицательному полюсу. Ближайший к положительному полюсу кислород притянется этим последним, молекула воды расщепится, и освободившийся водород соединится с кислородом соседней молекулы, водород этой последней соединится с кислородом следующей и т. д., водород молекулы, находившийся у отрицательного полюса, выделится на этом полюсе. После этого все молекулы поворачиваются на 180°, и процесс начинается снова. Конечно, в итоге такого процесса получается движение ионов.

¹ «Экспериментальные исследования». Серия III. Тождество отдельных видов электричества, происходящих от разных источников; количественные соотношения между обычным и гальваническим электричеством.

Фарадей показал, что представление о создании такого расположения частиц в проводниках не соответствует опытным данным. Установив симметрично две вольтовые батареи NP и $N'P'$, он соединил два соседних полюса N' и P , оставив противоположные полюсы N и P' изолированными. Магнитная стрелка, помещённая над соединительным проводом $N'P$, не отклонялась. Но она немедленно испытывала отклонение, если соединить полюсы N и P' . «Если предположить, — заключает Фарадей, — что действие банок (т. е. батарей) заключается лишь в том, что они возбуждают в проводах особое распределение их частиц или заключённого в них электричества, и если бы магнитное или электрическое состояние исчерпывалось этим расположением, то состояние расположения в проводе $N'P$ до соединения P' и N и

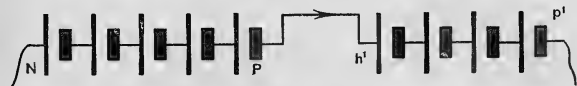


Рис. 213. К теории Фарадея.

после такового должно было быть одинаковым и стрелка должна была бы испытать отклонение также и в первом случае, хотя возможно и более слабое, например, лишь половину того, которое наблюдается при полном замыкании. Если же предположить, что магнитные действия зависят от тока, тогда становится ясным, что они не могли быть возбуждены до замыкания, ибо до замыкания ток отсутствовал».

Но что же такое ток?

«Под *током*, — говорит Фарадей, — я разумею нечто распространяющееся, будь то электрический флюид или два движущиеся в противоположных направлениях флюида, или только колебания, или, выражаясь ещё более общё, распространяющиеся силы. Под *расположением* я понимаю местное, не прогрессирующее распределение частиц, жидкостей или сил».

Обратим внимание, в каких общих и осторожных выражениях Фарадей определяет ток. Для него ясно одно, что ток это динамический, прогрессирующий процесс, а не статика. Но состоит ли этот процесс в движении электрической жидкости, или это процесс передачи сил в пространстве, этот вопрос он пока оставляет открытым. Впоследствии он будет высказываться в пользу второй гипотезы, для него ток — ось сил.

Что же касается существа исследования, то вывод Фарадея вполне определён: «все виды электричества, независимо от источника их получения, идентичны по своей природе». Различные формы электричества (в соответствии с различными способами его возбуждения) «по существу однородны и различаются лишь по степени и в этом отношении варьируют, в зависимости от изменяющихся условий количества и интенсивности, которые могут быть по желанию изменены почти для каждого вида электричества в той же степени, как мы это наблюдаем между различными видами». Результаты своих исследований Фарадей свел в таблицу, которая показывает, что различные проявления электрических сил могут быть получены при любом способе возбуждения этих сил. Пустые места означают, что соответствующий эффект пока не был наблюден, но сделанное Фарадеем примечание свидетельствует о его глубокой убеждённости, что соответствующий

эффект будет получен при достаточно мощных источниках. Вот эта таблица:

	Физиологический эффект	Отклонение магнитной стрелки	Сделаны магниты	Искры	Способность нагрева	Истинное электро-химическое действие	Притяжение и отталкивание	Разряд при помощи нагретого воздуха
Вольтовое электричество	×	×	×	×	×	×	×	×
Обыкновенное электричество	×	×	×	×	×	×	×	×
Магнитоэлектричество	×	×	×	×	×	×	×	
Термоэлектричество	×	×	×	×	×	×		
Животное электричество	×	×	×	×	×	×		

Итак, *качественно* почти все явления наблюдаются одинаково у всех видов электричества. Различие только в количественном отношении, и Фарадей желает установить количественное отношение между обыкновенным (т. с. статическим) и вольтовым электричеством. Но для этого надо было найти рациональную меру для измерения электричества. Химические и магнитные действия представляются ему наиболее подходящими для этой цели. Проведенные им опыты приводят его к выводу, что *«химические, равно как и магнитные силы, прямо пропорциональны абсолютному количеству прошедшего электричества»*.

Так был сформулирован первый закон Фарадея для электролиза. Количественные измерения позволили Фарадею установить, что статическое электричество — это электричество высокого напряжения и малой силы, в гальваническом электричестве соотношение обратное. Так, гальванический элемент, изготовленный из платиновой и цинковой проволоочек диаметром в $\frac{1}{6}$ дюйма, опущенных в подкисленную воду (капля серной кислоты на унцию воды) на глубину $\frac{5}{8}$ дюйма, с взаимным расстоянием $\frac{5}{16}$ дюйма, даёт за 6 секунд такое же количество электричества, которое получается при 30 оборотах сильной электростатической машины. Для разложения одного грана (= 0,065 г) воды требуется такое же количество электричества, которое способно зарядить большую лейденскую банку 800 000 раз.

Четвёртая серия «Экспериментальных исследований»¹ посвящена вопросу электропроводности твёрдых тел и жидкостей. Различие между проводниками первого и второго рода было известно уже Вольту. Исследования Фарадея по проводимости явились подготовительными к будущим его электрохимическим исследованиям, но они же были первым шагом в формировании его основополагающего воззрения о *роли среды в физических взаимодействиях*. Между прочим, в своих исследованиях Фарадей пришёл к вы-

¹ «Экспериментальные исследования». Серия IV. Новый закон электрической проводимости; общие соображения о проводящей способности.

воду, что жидкости, кроме «электролитической» проводимости, имеют и «металлическую» проводимость. Эти наблюдения Фарадея до последнего времени считались не подтвержденными. Открытие твердых полупроводников поколебало представление о резкой грани между ионной и электронной проводимостью.

Изучению электролиза посвящены пятая и седьмая серии «Экспериментальных исследований»¹. Здесь Фарадей прежде всего показывает, что источники статического электричества, лейденская банка и электро-статическая машина также могут вызывать химическое разложение, как и гальваническое электричество. На основании своих опытов он полагает, что представление о *внешней* причине (притяжение полюсов), вызывающей химическое разложение молекул, несостоятельно. Основным физическим моментом является среда, масса электролита. Ток является осью сил, заполняющих эту среду. «Электрическое разложение обусловливается *внутренним* корпускулярным притяжением в телах, действующим в направлении электрического тока, и производится силой, которая либо притекла со стороны, либо только даёт направление присущему телам химическому сродству. *Разлагаемое тело можно рассматривать как массу действующих частиц, из которых все, сходящие в сферу влияния тока, принимают участие в процессе...*

По моему мнению, эти действия производятся *внутренними* силами в теле, разлагаемом током, а не *внешними* силами, как можно было бы думать, если бы они были сосредоточены на полюсах...». Если вдуматься в приведенную цитату, то можно видеть, насколько глубокими и проициательными были идеи Фарадея. «Замечательно, что Faraday, открывший законы электролиза, ничего нового не высказал по вопросу о механизме этого явления»², — высказывается проф. Хвольсон в своём известном курсе физики. Но как раз замечательно другое, что Фарадей впервые высказал идею не о *внешнем* разложении полюсами, а о *внутреннем* полярном разложении частиц. Идея поляризационного смещения, идея силового поля, действующего по определённому направлению, — все это существенно новые идеи, высказанные здесь Фарадеем. Они развивались и совершенствовались, но основное их содержание не изменялось. Законы электролиза Фарадея не стоят особняком в цепи его исследований и не противоречат его основным физическим воззрениям. Учитывая роль среды в физических взаимодействиях, Фарадей мыслит о её структуре, и не случайно, что из воззрений Фарадея развилась не только физика поля, но и электронная теория.

В соответствии со своими воззрениями на электролиз, как на внутренний процесс, Фарадей считает существенно необходимым изменить номенклатуру обозначений. Полюса, подводящие ток к жидкости (сё Фарадей называет *электролитом* — электрическим раствором), являются истоками и стоками линий электрического тока, воротами электрического процесса. Их Фарадей обозначает *электродами* («пути электричества»). Полюс, на котором выделяется кислород (идушие *вверх* частицы), называется *анодом*, полюс, на котором выделяется водород (идушие *вниз* частицы), называется *катодом*. Сами движущиеся частицы называются соответственно *анионом* и *катионом*, вообще — *ионами*. Эта номенклатура не сразу завоевала признание, но в настоящее время она общепотребительна. Заметим, что Фарадей избегает терминов положительное и отрицательное электричество.

¹ «Экспериментальные исследования». Серия V. Электрохимическое разложение. Серия VII. Электрохимическое разложение (продолжение); электрохимический эквивалент.

² Х в о л ь с о н, Курс физики, т. IV, изд. Риккера, 1907, стр. 518.

По воззрениям Фарадея, электролитическое действие «происходит от видоизменения химического сродства в частицах, вызываемого электричеством; видоизменение состоит в том, что химическое сродство действует в одну сторону сильнее, чем в другую, и этим заставляет частицу переходить через новый ряд соединений и разложений в противоположном направлении и наконец на границе разлагаемого тела её выталкивает наружу».

В результате своих исследований Фарадей нашёл первый закон электролиза и установил пропорциональность количества вещества, выделившегося при прохождении единицы электричества, химическому эквиваленту вещества. Этот важный закон впервые указал на дискретность электрического заряда, т. е. явился основой электронной теории. Принято считать, что вы-

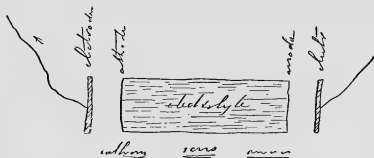


Рис. 214. Рисунок Фарадея к электролизу.

вод из закона Фарадея о дискретности электричества был сделан впервые Гельмгольцем в его фарадеевской речи, произнесённой в 1881 г. Но на самом деле уже Максвелл в своём «Трактате по электричеству и магнетизму» говорил о *молекуле электричества*. Однако, кого бы ни считать первым, высказавшим идею об атоме электричества, следует признать, что эта идея возникла из открытий Фарадея.

Электрохимические исследования Фарадея заставили его подойти вплотную к сложному и запутанному вопросу о связи химических сил и электричества, о споре контактной и химической теорий вольтова столба. Этому вопросу посвящены восьмая, шестнадцатая и семнадцатая серии «Экспериментальных исследований».

Спор шёл в то время о природе источника электрического напряжения в вольтовом столбе. Сторонники контактной теории утверждали, что электрическое напряжение, разделение электричества возникает всегда при контакте разнородных веществ и представляет собой *первичное* явление. Наоборот, сторонники химической теории (Де-ля-Рив, Беккерель) полагали, что разделение электричества при контакте представляет собой *вторичное* явление, результат химической реакции соприкасающихся веществ. Они указывали, что не может быть сухого соприкосновения разнородных металлов, поверхность соприкосновения гигроскопична и в жидкой плёнке действуют химические силы. Этот спор из важного, но по существу частного вопроса о природе контактной разности потенциалов превращался в общий принципиальный вопрос о превращении физических сил, о природе химических сил. Так, например, видный химик Берцелиус утверждал, что химические силы электрической природы являются результатом электрических притяжений и отталкиваний частиц.

Фарадей не мог согласиться с такой постановкой вопроса, у него были свои взгляды на природу электрических взаимодействий, которая определялась средой. Кроме того, его твёрдое убеждение в вечности, неразрушимости физических сил не позволяло ему мириться с существованием

«perpetuum mobile», к чему, по его мнению, должны были прийти сторонники контактной теории. В работе 1840 г. он высказывается по этому поводу со всей определенностью:

«Контактная теория принимает, что сила, способная преодолеть столь большие сопротивления, как, например, сопротивление хороших и дурных проводников прохождению через них тока, и сопротивление электрического действия, дающего разложение тела, что *подобная сила может возникнуть из ничего*; далее, что без всякого изменения в действующих веществах, без всякой затраты движущей силы образуется ток, который непрерывно продолжается, несмотря на постоянное сопротивление, или же, как в вольтовых элементах с разложением, может быть прекращён только теми продуктами распада, которые он сам накопит на своём пути. *Это было бы действительно созданием двигательной силы из ничего в отличие от всякой другой силы природы.*

Есть много процессов, при которых внешняя форма силы изменяется настолько, что происходит *видимое превращение одной силы в другую*. Так, мы можем превратить химические силы в электрический ток или последний в химическую силу. Прекрасные опыты Зеебека в Пельтье показывают взаимный переход теплоты и электричества, а из других опытов, Эрстеда и моих, вытекает взаимная обратимость электричества и магнетизма. *И нет такого случая, не исключая даже электрического угля и скала, где бы сила была создана или получена без соответственной затраты чего-либо другого.*

Если отвлечься от двусмысленного, неясного термина «сила», то можно ли отчётливее выразить идею сохранения и превращения энергии? Гений Фарадея нашёл возможность найти в удручающем потоке фактов и теорий то руководящее начало, которое позволило физикам и химикам установить правильную точку зрения как в данном вопросе, так и других конкретных задачах. В ту пору, когда ещё так смутны и неясны были представления о силе, о химическом сродстве, наконец о самом электричестве, важно было найти такую руководящую нить. И, действительно, вскоре другу Фарадея, химику Шенбейну, открывшему озон, удалось установить компромиссную точку зрения, сводящуюся к тому, что в гальваническом элементе при соприкосновении различных веществ возникает напряжение, следствием которого являются химические реакции в замкнутой цепи, доставляющие энергию тока. Эта точка зрения и легла в основу гельмгольцевской теории гальванического элемента.

В то время Фарадей работал над электрохимическими процессами, были сделаны наблюдения, расширяющие область индукционных явлений. В 1834 г. Дженкин (и почти одновременно Массон) заметил усиление электрической искры при размыкании тока, если провод свить в спираль и вставить в неё железный сердечник. Чем длиннее провод и чем больше число витков, тем сильнее искра. Но удлинение провода означало увеличение сопротивления, что должно повлечь за собой ослабление тока, а следовательно, и уменьшение искры. Оба наблюдателя считали свой эффект противоречащим закону Ома и загадочным. Фарадей правильно усмотрел в новом явлении частный случай индукции и доказал существование *экстратокков*. Исследованию самоиндукции посвящена девятая серия «Экспериментальных исследований», вышедшая вместе с десятой серией в 1835 г., после чего в работе Фарадея наступил более чем двухлетний перерыв, вызванный сильным переутомлением.

Классическими опытами, которые и поныне воспроизводятся на школьных демонстрациях, Фарадей доказал, что при размыкании экстратокков имеет то же направление, что и основной ток, при замыкании он противоположен. Существование экстратокков снова вернуло его к идее электрото-

нического состояния. «Я не могу сопротивляться впечатлению, что существует какой-то связанный и соответствующий эффект». Роль среды, окружающего пространства занимает его мысли. И после длительного перерыва он начинает одиннадцатую серию своих «Исследований» классическими опытами по электрической индукции.

Мы знаем, что факт электростатической индукции послужил основой для эйнусовской теории дальнего действия. Мы знаем, далее, что в законе Кулона роль среды в электрических взаимодействиях игнорируется. Правда, Кэвендиш впервые обнаружил влияние среды в электростатических явлениях, но его опыты по электричеству не были опубликованы. Поэтому исторически понятие диэлектрика было введено впервые Фарадеем.

Фарадеевские исследования электрической индукции знаменательны в двух отношениях. Здесь Фарадей открыто порывает с точкой зрения *actio in distance* и переносит центр физического исследования на среду. С другой стороны, в этих исследованиях живо чувствуется влияние «Писем» Эйлера. Воззрение на электричество как на некоторую модификацию эфира, проводимое Эйлером в этом сочинении, развивается Фарадеем дальше. Но так как воззрения Эйлера примыкали к ломоносовским, то можно установить замечательную преемственность: Ломоносов—Эйлер—Фарадей. Отметим, что «Письма к немецкой принцессе» Эйлера были одной из книг, оказавших сильное влияние на молодого Фарадея.

Представление о некоторой деформации в частицах среды поляризационного характера отмечается уже в первых исследованиях Фарадея по электропроводности. Это поляризационное состояние теперь Фарадей распространил и на эфир. Наэлектризованное тело приводит окружающее пространство в особое состояние, в результате чего через любую замкнутую поверхность, окружающее тело, смещается электричество в количестве, равном заряду тела. С помощью замкнутой проводящей полости можно обнаружить такое смещение, а именно (теорема Фарадея): если внутрь замкнутой проводящей полости поместить наэлектризованные тела, то на внутренней стороне полости индуцируется заряд, противоположный по знаку заряду наэлектризованных тел и равный ему по величине, на внешней стороне индуцируется равный и одноименный заряд. Расположение зарядов внутри полости не играет никакой роли. Заземление оболочки приводит к защите внешнего пространства от действия внутренних зарядов.

Эта теорема иллюстрируется известным опытом с цилиндром Фарадея. Если в металлический цилиндрический сосуд *A* поместить наэлектризованное тело *C*, изолированное от стенок сосуда, то электроскоп, соединенный с цилиндром, показывает один и тот же заряд независимо от положения *C*. *C* может находиться в соприкосновении с внутренней стороной цилиндра, тогда после его изъятия листочки электроскопа остаются в прежнем положении, само же тело *C* оказывается незаряженным (рис. 215).

Это смещение, деформация частиц эфира, распространяется по кривым линиям. Фарадей показал это следующим опытом (рис. 216). Над наэлектризованным цилиндром был помещен металлический диск. В различных участках за этим диском *f*, *g*, *h* помещался пробный шарик. В ближайшей к цилиндру точке *f* заряд не индуцировался, но в *g* и *h* индукционный заряд можно было обнаружить. С точки зрения действия на расстояние следовало бы заключить о непосредственной передаче по прямым линиям и, следовательно, ожидать электризации в *f*. Поэтому Фарадей из факта экранирующего действия проводников (которое он продемонстрировал еще эффектным опытом с клеткой) сделал вывод о невозможности *actio in distance*, о роли среды. Для того чтобы исследовать влияние среды, Фарадей изготовил сферические конденсаторы, названные им *аппаратами распре-*

деления. Внешняя обкладка конденсатора состояла из двух металлических полусфер. Внутренний шар подвешивался на проволоке, окружённой сургучом. Пространство между обкладками можно было соединять с воздушным насосом, заполнять различными газами, а также заполнять жидкими изоляторами или расплавленными твёрдыми (серой, шеллаком). Один из таких конденсаторов заряжается и приводится в соприкосновение с другим. Если промежуточная среда одинакова, то заряд распределяется поровну. Иное будет, если один аппарат имеет воздушную прослойку, а другой — наполовину заполнен шеллаком. При одинаковых потенциалах внутренних обкладок (внешние заземлены) заряд распределится не поровну, ёмкость конденсатора с шеллаком увеличится. Различные тела обладают, как выражается Фарадей, различной *индуктивной способностью*. Вещества, способные передавать индукционные действия, он назвал *диэлектриками*. К диэлектрикам относится и чистый эфир. Диэлектрики, по Фарадею, являются носителями электрического состояния. Если удалить обкладки конденсатора и привести во взаимное соприкосновение (опыт с разборным конденсатором), а затем вновь собрать конденсатор, то обкладки вновь зарядятся: диэлектрик сохранял своё поляризационное состояние.

Существенную роль диэлектрика Фарадей демонстрирует и таким классическим опытом. Пусть две металлические пластинки *A* и *C* соединены с золотыми листочками *a* и *b*. Соединим на мгновение *A* и *C* с землей и поместим посередине между ними заряженную пластинку *B*. Тогда стороны

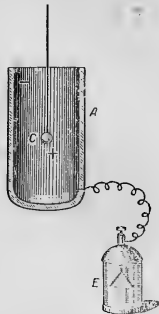


Рис. 215. Цилиндр Фарадея.

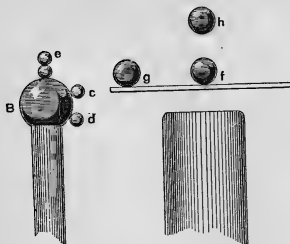


Рис. 216. К теории индукции Фарадея.

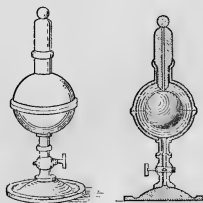


Рис. 217. Конденсатор Фарадея.

A и *C*, обращённые к *B*, зарядятся вследствие индукции одинаково, и листочки *a* и *b* остаются в покое. Но если между *A* и *C* поместить диэлектрическую пластинку, симметрия нарушается, листочки *a* и *b* притягиваются (рис. 218).

Влияние среды должно иметь место во всех электрических явлениях, и в частности в электрическом разряде. Форма и характер разряда существенно зависят от промежуточной среды, химической природы газа, его

давления, температуры. Фарадей начал изучение газового разряда, и его именем названо открытое им тёмное пространство в светящемся под действием разряда разреженном газе.

«Два латунных стержня в 0,3 дюйма толщины были введены с противоположных сторон в стеклянный шар до взаимного соприкосновения, воздух в шаре был сильно разрежен. Через стержни был пропущен электрический разряд из машины, и во время прохождения концы стержней были отделены друг от друга. В момент отрыва на конце отрицательного стержня появилось длительное свечение, между тем как положительный оставался совершенно тёмным. При увеличении расстояния на конце положительного стержня появился пурпуровый сноп или туман, направлявшийся прямо к отрицательному стержню. С увеличением промежутка этот сноп удлинялся, но никогда не доходил до соприкосновения с отрицательным свечением — между ними постоянно оставался короткий тёмный промежуток».

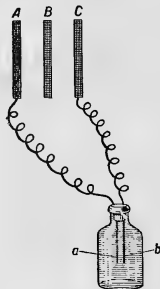


Рис. 218. Опыт Фарадея с диэлектриком.

«... Разъяснение этих явлений было бы очень важно», — указывает Фарадей. «Если смотреть на эти явления, как на дальнейшее доказательство того, что основания распределения и разряда следует искать в состоянии частиц диэлектрика, то было бы крайне важно знать в точности, в чём заключается различие действия в тёмных и светлых частях».

Итак, различные случаи электрических процессов приводят Фарадея к выводу, что причину этих процессов следует искать во внутреннем состоянии частиц диэлектрика или проводника. Природа электрических сил — не дальнего действия, а ближнего действия. Таков, по мнению Фарадея, характер всех центральных сил. Но так называемые «поперечные» силы, т. е. силы взаимодействия токов, силы их магнитного поля, не зависят от свойств промежуточной среды. По крайней мере попытки Фарадея обнаружить такое влияние успеха не имели: «...поперечная сила распределения токов, тоже способная действовать на расстояние, не распространяется таким же образом (т. е. как электрическая) через посредство промежуточных частиц». Всё же Фарадей полагает «возможным и даже вероятным, что магнитное действие передается на расстояние через посредство промежуточных частиц»¹.

Однако ближайшие исследования Фарадея не имеют целью доказать это положение и посвящены доработке вопроса об источниках электричества. Четырнадцатая серия доказывает тождественность электричества рыб с электричеством других источников. Шестнадцатая и семнадцатая серии посвящены вольту столбу. В восемнадцатой серии Фарадей исследует природу открытого Армстронгом явления электризации паровой струи, вырывающейся из предохранительного клапана. Фарадей пришёл к выводу, что причиной такой электризации является трение частиц пара о стенки выводной трубки, причём конденсированные частицы заряжаются положительно, а стенки котла отрицательно.

Семнадцатая серия появилась в 1840 г., восемнадцатая — в 1843 г. Казалось, что период творческого подъёма прошёл, и жалобы Фарадея на

¹ «Экспериментальные исследования». Серия XIV.

переутомление звучат чаще и чаще. Но намеченная им программа: доказать единство и взаимную превратимость сил природы, доказать универсальность мировой среды — эфира, ещё не выполнена. В 1845 г. он возвращается к ней и ищет влияния магнетизма на свет. К этому времени, работая над маяками, Фарадей исследовал и перепробовал много сортов стекла. Ему пришла в голову мысль исследовать влияние магнитного поля на поляризованный свет.

Пучок света, поляризованный отражением от стеклянной поверхности, проходит через испытываемое стекло и затем через николю. Установив николю на темноту, подвергают стеклу действию электромагнита: поле становится освещённым, и, чтобы получить вновь темноту, необходимо было повернуть николь на некоторый угол.

Так было открыто *магнитное вращение плоскости поляризации*. Сообщение об этом новом эффекте помещено в девятнадцатой серии «Экспериментальных исследований» под характерным названием «О намагничивании света и освещённости магнитных линий сил». Наиболее сильно вращало плоскость поляризации кремнеборное стекло, затем стекло с борнокислой окисью свинца. Так Фарадей открыл действие магнита на свет.

Теперь Фарадей уже с большой уверенностью ищет доказательства влияния среды на магнитные взаимодействия. Насколько трудно было получить надёжный результат, можно судить по такой исторической справке. В 1802 г. Кулон опубликовал сообщение, что ему удалось наблюдать намагничивание дерева и других материалов. Испытуемый образец имел форму иглы длиной 7—8 мм и диаметром $\frac{3}{4}$ мм (для металлов $\frac{1}{4}$ мм) и подвешивался на тонкой шёлковой нити между двумя магнитами, обращёнными друг к другу разноимёнными полюсами. Однако выяснилось, что намагничивание было обусловлено присутствием железных частиц.

Как мы уже упоминали выше, попытки Фарадея обнаружить намагничивание различных веществ не увенчались успехом. В новых опытах Фарадей использовал сильный электромагнит. Кусок тяжёлого стекла, подвешенный перед полюсом электромагнита, отталкивался последним. Изготовив из того же стекла стержень и поместив его между полюсами, он нашёл, что стержень располагается перпендикулярно силовым линиям, т. е. не по оси, а по экватору. Так был открыт *диамагнетизм*. Вместе с тем ему удалось установить, что многие тела, считавшиеся немагнитными, как, например, платина, палладий, сургуч и др., намагничиваются и располагаются аксиально, вдоль силовых линий. Эти вещества были названы *парамагнитными*. Исследованию новых магнитных действий посвящены серии двадцатая и двадцать первая.

Какова причина столь полярно-противоположного поведения тел? Фарадей полагает, что разницу надо искать не в самих телах, а в их *отношении* к окружающей среде. Отсюда его интерес к изучению магнитных свойств газов и пламени (серии XXI и XXXI). Идею этих опытов можно уяснить из более поздних экспериментов по магнетизму жидкостей. Если обозначить через σ плотность магнитных масс на поверхности раздела двух сред, перпендикулярной силовым линиям, I_1 и I_2 — интенсивность намаг-



Рис. 219. Магнитные силовые линии.

ничивания в первой и второй средах, H_1 и H_2 — напряжённости магнитных полей в них, μ_1 , μ_2 — магнитные проницаемости обеих сред, а B_1 и B_2 — магнитные индукции, то

$$\sigma = I_1 - I_2.$$

С другой стороны,

$$4\pi\sigma = H_2 - H_1;$$

Но

$$B_1 = \mu_1 H_1 = H_1 + 4\pi I_1; \quad B_2 = \mu_2 H_2 = H_2 + 4\pi I_2.$$

$$B_1 = B_2,$$

следовательно,

$$H_1 + 4\pi I_1 = H_2 + 4\pi I_2; \quad \mu_1 H_1 = \mu_2 H_2 = B;$$

$$\sigma = \frac{B}{4\pi} \left(\frac{1}{\mu_2} - \frac{1}{\mu_1} \right) = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 \mu_2} \frac{B}{4\pi}.$$

Если

$$\mu_1 > \mu_2, \text{ то } \sigma > 0 \text{ при } \mu_1 < \mu_2 \quad \sigma < 0.$$

Фарадей помещал между полюсами магнита сосуд, в который наливал раствор парамагнитной соли железа (хлорного железа). В этот раствор

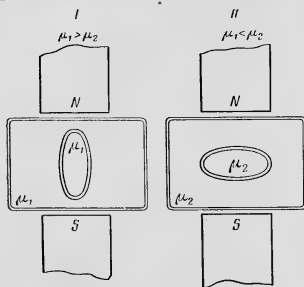


Рис. 220. Пара- и диамагнетизм.

он помещал трубочку, заполненную раствором другой концентрации. Если концентрация раствора в трубочке была выше концентрации в сосуде ($\mu_1 > \mu_2$), то трубочка принимала аксиальное положение. Если же концентрация в сосуде была больше, чем в трубочке ($\mu_1 < \mu_2$), то трубочка занимала экваториальное положение, т. е. вела себя как диамагнитное вещество.

Экспериментируя с газами, Фарадей пропускал струю газа между полюсами электромагнита, примешивая к ней пары соляной кислоты (HCl). Над струей помещались стеклянные трубки, смоченные раствором аммиака (NH_3). Когда магнит

отклонил струю газа, то одна из этих трубок покрывалась парами нашатыря, что давало возможность определить направление отклонения газа. Из этих экспериментов Фарадей установил, что только кислород в воздухе парамагнитен, все прочие газы диамагнитны. Если газы помещать в углекислоту, то парамагнитными оказываются не только кислород, но и воздух и окись азота. Пламя обладает в воздухе сильными диамагнитными свойствами, что можно обнаружить по изменению его формы в магнитном поле. Впоследствии (серия XXV, «Phil. Trans.», 1851 г.) Фарадей изучал магнитные свойства газов, заполняя ими мыльные пузыри.

Отметим, что диамагнитное отталкивание кусочка висмута, плавающего в лодочке по поверхности воды, наблюдал Бругманс в 1778 г., а в 1827 г. аналогичное явление для сурьмы обнаружил Э. Беккерель.

Исследования Фарадея всё более и более укрепляли его убеждение в единстве сил природы, в простоте природы, в её соответствии самой себе. Поскольку в кристаллах имеет место оптическая анизотропия, то, по мысли Фарадея, должна быть и электрическая и магнитная анизотропия. Его поиски электрической анизотропии кристаллов окончились неудачей (серия XIV, 1838 г.). Но в отношении намагничивания Фарадею удалось доказать существование магнитокристаллических осей в монокристалле висмута, далее в сурьме, мышьяке и других телах (серия XXII, «Phil. Trans.», 1849; серия XXIII, «Phil. Trans.», 1850).

Заканчивая свои исследования, Фарадей писал: «Не могу закончить этот ряд исследований, не отметив, как быстро растут наши знания о молекулярных силах, с какой яркостью каждое исследование выявляет их важность и делает изучение их привлекательным. Ещё немного лет тому назад магнетизм был для нас тёмной силой, действующей на очень немногие тела; теперь же мы знаем, что он действует на все тела и находится в самой тесной связи с электричеством, теплотой, химическим действием, со светом, кристаллизацией, а через последнюю — с силами сцепления. При таком положении вещей мы чувствуем живую потребность продолжать наши работы, воодушевляемые надеждой привести магнетизм в связь даже с тяготением».

Поискам такой связи посвящена двадцать четвёртая серия «Исследований». Опыт Фарадея был поставлен следующим образом. Он изготовил катушку из изолированной медной проволоки длиной 350 футов (около 107 м), длина катушки была 4 дюйма (приблизительно 10 см), внешний диаметр 2 дюйма, внутренний 1 дюйм. Концы проволоки посредством скрученных вместе проводов присоединялись к чувствительному гальванометру. Катушка с высоты 36 футов бросалась на мягкую подушку с таким расчётом, чтобы её ось во время падения оставалась вертикальной. По гальванометру оставался неподвижным, превращения силы тяжести в электричество не наблюдалось. «На этом пока мои опыты заканчиваются, — писал Фарадей, — результаты их отрицательны, тем не менее моя уверенность в существовании связи между силой тяжести и электричеством ими не поколеблена».

Уверенность Фарадея оправдалась. Со времён Максвелла мы знаем, что свет — электромагнитные волны. А гравитационное искривление светового луча ныне доказано астрономическими наблюдениями.

Последние исследования Фарадея посвящены обоснованию и развитию его основных физических воззрений. Эти работы встретили недружелюбное отношение в современных ему кругах физиков. Стокс был против напечатания двадцать четвёртой серии в «Phil. Trans.», а «Анналы» Поггендорфа напечатали последние три серии в виде кратких извлечений «за недостатком места». Причина такого недружелюбного отношения заключалась в том, что идеи Фарадея резко дисгармонизировали с традиционным формально-математическим мышлением теоретиков. «Я был осведомлён, — писал Максвелл в предисловии к своему «Трактату», — что высказывалось мнение о различии между фарадеевским методом понимания явлений и методами математиков, так что ни Фарадей, ни математики не были удовлетворены языком друг друга».

«... Фарадей своим мысленным оком видел силовые линии, проходящие по всему пространству там, где математики видели центры сил, притягивающие на расстоянии. Фарадей видел промежуточную среду там, где они ни-

чего не видели, кроме расстояния. Фарадей искал сущность явлений в том, что в действительности происходит в среде, другие удовлетворялись тем, что находили эту сущность в способности действия на расстоянии, которую одарены электрические жидкости».

Пожалуй, трудно точнее и ярче очертить то расхождение между методом Фарадея и методом «математиков», чем это сделано Максвеллом в процитированных нами строках. Фарадей — основатель физики электромагнитного поля, физики эфира. Учение о физических силовых линиях («фарадеевские трубочки»), натяжениям и давлениям которых объясняется всё действие токов, магнитов и наэлектризованных тел, центральный пункт его физических воззрений. Намеченная им ещё в первых исследованиях идея об электротоническом состоянии развернулась и конкретизировалась в этих его основных воззрениях. В п. 3269 его «Исследований» сжато сформулировано учение о силовых линиях:

«3269. Взаимное соотношение магнитных силовых линий и электрической оси активности¹ стало известным ещё со времён Эрстеда и Ампера. Это при наличии тех соображений, которые я стремился развить, позволяет нам высказать догадку или суждение с некоторой определенной степенью вероятности касательно природы линии магнитной силы. Я склоняюсь к мысли, что они физически существуют соответственно их аналогу, электрическим линиям (курсив наш. — П. К.) и, принимая это во внимание, я далее ставлю вопрос, вероятно ли предположение, что они характеризуются динамическими условиями аналогично тому, что имеет место в отношении электрической оси, с которой они столь тесно и, быть может, неизбежно связаны, причём в данном случае возникла бы идея о магнитных токах; или они образованы некоторым состоянием напряжения вокруг электрической оси и могут быть рассматриваемы поэтому как статические по своей природе.² Снова и снова меня преследует идея об электротоническом состоянии (60, 1114, 1661, 1729, 1733)³: такое состояние совпадало бы и было бы тождественно с тем, что образует физические линии магнитной силы. Другое соображение связано с тем же направлением мыслей. Я раньше отмечал, что магнитный эквивалент статического электричества неизвестен; действительно, если скрытое состояние электрической силы соответствует столь же скрытым условиям, определяющим магнитную силу, и если электрический ток или ось электрической активности соответствует линиям магнитной силы или осям магнитной активности, то в этом отношении ничего неизвестно о магнитных условиях, которые соответствовали бы статическому состоянию электрических сил (1734). Затем, если мы признаем, что физические линии магнитной силы являются токами, то весьма неправдоподобно, чтобы подобное связующее звено отсутствовало в природе; более неправдоподобно, я полагаю, чем предположение, что магнитные условия должны зависеть от какого-то состояния напряжения; и это тем более неправдоподобно, что при последнем предположении физическое существование линий магнитной силы было бы столь же достоверно, как и в случае предыдущего предположения; свойство же искривлённости этих линий, признать которое, как мне кажется, столь необходимо в соответствии с действительными фактами, оказалось бы чем-то возможным».

¹ Напомним, что Фарадей рассматривал ток, как ось сил.

² Другими словами, Фарадей ставит вопрос, являются ли магнитные линии линиями истечения некоторой субстанции в духе Лукреция, Декарта, Эйлера, или линиями сил — осями некоторой деформации в среде (эфире).

³ В скобках указаны номера пунктов «Экспериментальных исследований», в которых Фарадей развивает идею об электротоническом состоянии. Некоторые из этих параграфов нами уже цитировались.

В последующих пунктах Фарадей считает необходимым ещё раз разъяснить существо своей точки зрения на природу магнитных взаимодействий и её отношение к другим воззрениям на тот же предмет:

«3301. В настоящее время существуют две или, скорее, три общие гипотезы о физической природе магнитной силы. Первая — гипотеза эфира, ведущая за собой представление об эфирных токах. Она изложена в простой форме Эйлером в его «Письмах», предназначенных для физика без математической подготовки. Согласно этой гипотезе магнитный флюид или эфир движется потоком через магниты, а также вещества и пространства, их окружающие. Затем существует гипотеза двух магнитных флюидов, присутствующих во всех магнитных телах и собирающихся на полюсах магнита, где они притягивают и отталкивают частицы обоих флюидов на расстоянии и, таким образом, вызывают притяжения и отталкивания тел, содержащих эти флюиды и находящихся на расстоянии друг от друга. Наконец, имеется гипотеза Ампера, которая предполагает существование электрических токов вокруг частиц магнитов. Токи эти, действуя на расстоянии на другие частицы, содержащие такие же токи, упорядочивают расположение частиц в массах, к которым принадлежат частицы, делая таким образом эти массы способными к восприятию магнитного действия. Каждая из этих идей в большей или меньшей степени варьируется различными физиками, но для моих целей достаточно этих трёх основных гипотез. Моё физико-гипотетическое представление не заходит так далеко, как вторая и третья из этих гипотез, ибо оно не занимается вопросом о возникновении или поддержании магнитной силы в магните. Моя гипотеза совпадает скорее с первой (курсив наш. П. К.), хотя и не идёт так далеко. Принимая магнит за центр силы, окружённой силовыми линиями, которые в качестве представителей силы получили уже математическое обоснование и оправдание¹, она рассматривает эти линии, как *физические* (курсив Фарадея) линии сил, существенно необходимые как для существования силы внутри магнита, так и для передачи её магнитным телам на расстоянии. Сторонники теории эфира могут рассматривать эти линии как токи или распространяющиеся вибрации, или стационарные колебания, или же, наконец, как состояния напряжения. По многим соображениям их необходимо считать существующими вокруг провода, несущего электрический ток, как и в том случае, когда они исходят из магнитного полюса».

Фарадей считает, далее, что необходимо поставить вопрос «об истинном, но неизвестном, естественном, магнитном действии». «Нам нужно, — указывает он, — не множество различных методов представления сил, но единственно истинное физическое выражение как того, что раскрывают нам явления, так и законов, управляющих последними». При этом Фарадей полагает, что «из принятых в настоящее время гипотез — гипотезы флюидов и гипотезы токов — какая-либо одна должна быть неверна, а быть может и обе». Своё убеждение Фарадей обосновывает указанием на то, что «ни одна из этих CONCESSIONS не могла привести к открытию явления диамагнетизма и, как я думаю, явления магнитного вращения света». Таким образом, нецелесообразность этих гипотез, которые в лучшем случае могли описать уже известные факты, но не стимулировали поисков новых эффектов, — вот в чём, по Фарадею, заключается их основной порок. И это, конечно, правильно.

¹ Фарадей имеет в виду исследование В. Томсона, показавшего в ряде статей, что метод силовых линий с успехом может быть применён для математического описания электростатических явлений.

Фарадей, руководствуясь своими воззрениями, открыл столько нового, что он не мог не выработать убеждения, что в них отражается вернее и глубже, чем в старых воззрениях, сущность природы. Опыты Фуко, только что принесшие победу волновой теории света, внушали ему надежду, что столь же успешно может быть решена задача об истинной сущности магнитных явлений. Фарадей уподобляет магнит Солнцу, магнитные линии — световым лучам и считает, что отсюда возможен экспериментальный подход. Он писал:

«... бесспорно станет вопрос о наивозможно широком рассмотрении этой проблемы с точки зрения чисто физической, ибо если предположить существование физических линий магнитной силы, соответствующих (в смысле своего реального существования) световым лучам, то не представляется столь невероятным, что к ним можно будет подступиться экспериментальным путём. Разрешение вопроса об их существовании чрезвычайно важно, тем более что есть все основания надеяться на положительный ответ. Поэтому я предполагаю, не выдвигая никаких физических гипотез о природе магнита, кроме того, что было мною сказано в п. 3299, снова обратить внимание экспериментаторов, в несколько, правда, несвязной форме, на этот вопрос как с точки зрения недостаточности современных физических взглядов, так и с точки зрения возможного существования линий физических сил. Я ограничу свои замечания немногими пунктами, как-то: полярность, двойственность и т. д. В своей попытке я исхожу из следующих соображений:

1. Подтвержденные математиками правильности представления о направлении и количестве магнитной силы при помощи абстрактных силовых линий.

2. Успешное применение этих линий во многих случаях мной лично (п. 3174).

3. Наблюдаемая аналогия между магнитной силой и другими двойственными силами как в статическом, так и динамическом состоянии, в особенности же аналогия между магнитом и вольтовой батареей или другим постоянным источником электрических токов.

4. Идея Эйлера о магнитных эфирах или циркулирующих флюидах.

5. Высказанное сэром Исааком Ньютоном твердое убеждение в том, что даже сила притяжения не может произвести действия на расстояние без посредства какого-либо агента, играющего роль физической линии силы¹.

6. Пример борьбы между двумя теориями света и разрешение этого вопроса экспериментальным путём.

Это замечательное «завещание» Фарадея послужило программой для работ Максвелла и последующей плеяды великих физиков — Герца, Лебедева, Попова и других. К сожалению, мало обращалось внимания на идейные корни воззрений Фарадея (за исключением п. 5, где Фарадей говорит о Ньюtone, в связи с чем очень часто вспоминают о «нематериальном агенте») и на его отношение к современной ему идейной борьбе в физике. Мы ещё раз отмечаем здесь, что Фарадей определенно указывает на происхождение своих воззрений от Эйлера, а следовательно (о чём, конечно, он сам не знал) и от Ломоносова. Мы отметим здесь, что Фарадей следил за перипетиями великого спора о природе света и что его симпатии были не на стороне ньютоновцев. Более того, победа волновой теории дала возможность Фарадею надеяться и на победу его теории, его физических воззрений.

¹ Здесь Фарадей в списке цитирует известное письмо Ньютона Бентли (см. гл. VIII).

Характеристика
воззрений
Фарадея.

Надо сказать, что в оценке этих последних далеко не достигнуто согласованности и ясности. Приято думать, что основное в воззрениях Фарадея — это идея о близкодействии и отрицание действия на расстояние.

Вспомним приведенную выше характеристику Максвелла. Разумеется, это центральный пункт в воззрениях Фарадея. Но всё же остаётся еще не выясненным, как Фарадей понимал это близкодействие. И по нашему мнению, гвоздь вопроса кроется именно в этом.

Исходным пунктом воззрений Фарадея является убеждение о единстве, неразрушимости и превратимости физических сил. Это убеждение является источником и сильной и слабой стороны его физических воззрений. Слабая сторона заключается в двусмысленности и неопределённости самого термина «сила», который Фарадей употребляет и в ньютоновском понимании, и в современном значении «энергия». Эта двусмысленность, и даже, лучше сказать, многозначность термина не позволила Фарадею стать одним из творцов принципа сохранения энергии, ни даже понять принцип, хотя Фарадей и был знаком с английским переводом книги Гельмгольца «О сохранении силы». Эта же двусмысленность заставила его сочувственно отнестись к динамике Босковича и даже высказаться чуть ли не в смысле существования сил независимо от материи («Мы знаем и признаём силы во всяком явлении природы, а отвлечённой материи ни в одном». «Я не мыслю *ничего*, кроме сил и линий, вдоль которых силы проявляются, и т. д.»). Замазывать эти слабые стороны воззрений Фарадея (на что, кстати, уже обращал внимание Энгельс) было бы недостойно его великого имени. Но всё же центр тяжести лежит не в этих слабых сторонах, а в другом, что составляет его сильную сторону.

Сильная сторона воззрений Фарадея прежде всего в том, что он материалист. Он постоянно говорит о силах материи, частицах материи и т. д. Но Фарадей делает новый шаг по сравнению с механическим пониманием материи XVII—XVIII вв. Он не считает возможным оторвать материю от «сил», точнее, от движения. Для него материя — это не мёртвая, пассивная материя ньютоновцев, а активная, движущая и движущаяся, центр сил. В свете его понимания материи становится ясным и его неприятие к терминам атомистики XVIII, XIX вв. «Я не люблю слова *атом*», — говорит Фарадей.

Фарадеевское понимание атома значительно ближе к современности, чем атомы Гассенди, Бойля, Ньютона. Атом сложен и многообразен, а не простая неизменная частичка. В нём следует искать понимания разнообразных «сил» природы. «Хотя мы не знаем ничего о том, что представляет собой атом, однако в нашем уме невольно возникает представление о нём как маленькой частице. Наши познания об электричестве также, если не более, ограничены; мы не можем сказать, есть ли это особая материя или материи, или только движение обычной материи, или же какая-либо третья сила, или действующее начало. Однако громадное количество фактов убеждает нас в том, что между атомами материи и электрическими силами существует какая-то связь и что именно этим силам атомы обязаны самым поразительным свойством и, между прочим, взаимным химическим родством».

Как видим, «противнику» атомистики Фарадей видел дальше и глубже, чем её защитники. Для Фарадея была непринемлема идея об атоме как неизменном «кирпиче мироздания», но он уже видел своим духовным взором атом будущего с его неисчерпаемыми, «поразительными» свойствами, из которых первое место принадлежит электрическим свойствам. Так обстоит дело с отношением Фарадея к представлениям об «атомической материи».

Но наряду с «обычной», «атомической» материей физика со времён Гюйгенса и Декарта разрабатывала идею мирового эфира, универсальной среды, которая является ареной оптических процессов, а может быть и гравитационных, электрических и магнитных. Принято думать, что именно понятие эфира является у Фарадея доминирующим, что материальные заряженные частицы являются «узлами» силовых линий в эфире. На самом деле воззрения Фарадея более глубоки. Он отрицательно относится и к эфиру Гюйгенса — Эйлера — Френеля. Для него материя *едина*, но вместе с тем бесконечно разнообразна в своих проявлениях. Вот почему он считает более правильным пользоваться идеей о физических линиях сил, которые он мыслит *кинетически*, а не как статическое напряжение в эфире, чем прибегать к противопоставлению: «эфир — материя». Материя всюду, она не ограничивается частицами, она и вне их, и внутри их. Частицы — это центр силовых линий. Из хаоса различных субстанций (материя, эфир, электрическая или электрические материи, магнетизм и т. д.) Фарадей пытается с помощью своего представления о силовых линиях построить единую картину мира, картину движущейся единой материи, с количественно неизменными, качественно разнообразными силами. Особенно следует подчеркнуть, что силовые линии Фарадея — это линии «переноса силы», а не статические модели. «... Существуют линии тяготения, линии электростатической индукции, линии магнитного действия и другие, имеющие динамический характер». Это, может быть, какие-то «лучевые вибрации», аналогичные лучам света, каковой термин Фарадей применяет в связи со своими воззрениями о силовых линиях.

Фарадей считает необходимым указать, что в его время нет возможности высказаться более определённо о существе тех процессов в среде, которые воспринимаются нами, как электромагнитные, оптические, гравитационные действия. Исследование природы этой сущности — дело будущего. Но во всяком случае он твёрдо убеждён в единстве всех этих разнообразных явлений, в единстве физической картины мира. И это убеждение Фарадея является сильной стороной его воззрений, позволившей ему сделать свои великие открытия.

Перечислим ещё раз эти открытия: электромагнитные вращения, сжатие газов, электромагнитная индукция, диэлектрические свойства, вращение плоскости поляризации в магнитном поле, дискретность электричества и законы электролиза, форма разряда в газах, диамагнетизм и парамагнетизм, магнитная анизотропия. Им построен первый электродвигатель, первая динамо-машина, первый трансформатор. Только несовершенство спектроскопа не позволило ему открыть эффект Зеемана. Каждое новое открытие, сделанное Фарадеем, каждый новый шаг убеждали его в правильности основного тезиса о природе, как единой движущейся материи, с бесконечно-разнообразными и гибкими связями различных форм движения, или «сил», по его неудачной терминологии.

Идея Фарадея первым оценил Максвелл. Столетов, начавший свою научную деятельность ещё при жизни Максвелла, был одним из первых учёных не только России, но и Европы, оценивший глубину идей Фарадея — Максвелла. Не лишне будет привести отзывы этих учёных о Фарадее. ¹²

«Сын кузнеца, подмастерье перенальтчика в своей ранней юности, — говорит Столетов, — Фарадей кончил жизнь членом всех учёных обществ, бесспорно признанным главой физиков своего времени. Никогда со времён Галилея свет не видал столько поразительных и разнообразных открытий, вышедших из одной головы, и едва ли скоро увидит другого Фарадея. Заслуги его громадны. Глубокие идеи, которые он заронил в теорию элект-

трических явлений, только теперь получают должную оценку¹ и уже привели к новым блестящим открытиям.

В статье Максвелла «Фарадей» («Nature», Vol. VIII, 18 сентября 1873 г.) читаем:

«Мы прежде всего рассматриваем Фарадея, как наиболее полезный и одновременно наиболее благородный тип учёного... Нужно надеяться, что его благородная, простая и лишённая драматизма жизнь будет так же долго жить в памяти людей, как и обессмертившие его имя открытия.

Фарадей является и навсегда останется творцом того общего учения об электромагнетизме, которое рассматривает с единой точки зрения все явления, изучавшиеся прежде в отдельности, не говоря уже о тех явлениях, которые открыл сам Фарадей, следуя своему убеждению о единстве всей науки».

Предпосылки
к появлению
закона сохра-
нения энергии.

Важнейшим достижением естествознания фарадеевского периода является установление закона сохранения энергии. Значение этого закона выходит далеко за рамки частного физического закона. Вместе с законом сохранения масс этот закон образует краеугольный

камень научного материалистического мировоззрения, выражая факт неуничтожаемости материи и движения. Собственно философские предпосылки для такого утверждения уже имелись налицо. Они были и у античных философов, особенно атомистов, и у Декарта, и особенно конкретно и отчётливо у Ломоносова. Немецкая философия Гегеля внесла идею о преемственности и взаимной связи явлений. Но она представляла мир в извращённом виде и оказала плохую услугу новому закону. Идеалистическая воинствующая направленность немецкой философии против французского материализма, служившего до сих пор теоретической базой естествознания, надолго отбила вкус у естествоиспытателей к философии вообще.

И философский привкус первых работ Майера, Гельмгольца и Кольдинга мешал физикам-практикам разглядеть существо новых идей. Поблизилась гениальная переработка гегелевской диалектики с целью извлечения из неё «рационального зерна» Марксом и Энгельсом, чтобы создать подлинно научную методологию — метод диалектического материализма, о чём мы уже говорили выше. Но в данную эпоху новому, великому обобщению естествознания приходилось пробивать дорогу, преодолевая и установившиеся традиции механического мышления, и противодействие идеалистической реакции. И если новый принцип победил, то это случилось, конечно, прежде всего потому, что он был верен, но также и потому, что созрели материальные предпосылки для установления истины.

В чём же заключались эти материальные предпосылки? Почему не могли восторжествовать в XVIII в. гениальные идеи Ломоносова о теплоте как форме движения? Почему, несмотря на наличие паровых машин, опытов Румфорда, Дэви и Петрова, продолжала существовать ещё старая флюидная теория тепла? Почему, несмотря на почти общепризнанность истины о невозможности переезума мобиле (см. И. Карно, С. Карно, Клапейрон), всё же надлежащего обобщающего вывода не было сделано? И только в сороковых годах начало формироваться учение о сохранении и превращении энергии.

Причина заключалась в том, что мануфактурный период в Европе закончился, наступил период промышленного капитализма с его кулией-продажей «свободной» рабочей силы, с его новой технической основой.

¹ Писано в 1879 г.

Не случайно, что период установления закона сохранения энергии совпал с периодом создания марксистской политической экономии, сорвавшей маску с мистической тайны стоимости, «справедливой» заработной платы, «нормальной» прибыли. То, что было сделано Марксом в сфере общественных отношений, было сделано авторами закона сохранения энергии в сфере естествознания. Но Маркс выяснял общественный характер человеческого труда, его социальную функцию. Работа же как естественно-научная категория стала предметом внимания техников, физиологов и физиков. Смешение этих двух вещей нередко порождает путаницу.

Энгельс в своей известной статье «Мера движения. — Работа» справедливо указывает, что в английском языке существуют два термина для работы: «labor» (труд) и «work» (работа), первый из которых относится к сфере политической экономии, второй — к естествознанию. В русском языке можно также точно отграничить употребления слов «труд» и «работа». Во всяком случае суть дела заключается в том, что новые производственные отношения поставили вопрос о сравнении и стоимости различных работ, об их эквиваленте. Этот факт ясен даже и для буржуазных историков науки, как, например, Тэтта. Но опять-таки, смешивая социальную функцию труда с физической работой, она затуманивала хищнический, грабительский характер капиталистического присвоения, толкая о какой-то «естественной» мере и стоимости работы. В этом отношении техники и физиологи, занимающиеся опытами по сравнению мощностей живых и механических двигателей, выполняли определённый социальный заказ¹. Но, разумеется, и технический прогресс, в первую очередь появление и развитие паровых двигателей, стимулировал такие опыты. Уатт производил эксперимент сравнения производительности лошадей и его машины. Эта производительность оценивалась количеством откачанной с определённой глубины воды за определённое время, т. е. той величиной, которую в технике называют мощностью. Эти опыты послужили поводом к установлению единицы мощности — «лошадиная сила», которая наряду с килограммом, употребляемым в двух смыслах, представляет и сегодня камень.

¹ Любопытной иллюстрацией этого «социального заказа» могут служить слова Гельмгольца о поисках перпетуум мобиле в XVIII в. (автоматика) и слова Араго о роли паровой машины. Говоря о знаменитых автоматах XVIII в. (см. гл. X), Гельмгольц замечает:

«Было бы непостижимо, что люди, по позорительности не уступавшие наиболее выдающимся умам нашего столетия, посвятили столько времени и труда, положили бездну остроумия на устройства этих автоматов — для нас не более как детских прутшек, если бы они не верили в возможность истинного успеха». «... И если некоторые механики и не питали надежды вдунуть в свои создания души, одарённые нравственными совершенствами, то, вероятно, многие отказались бы от нравственных совершенств своих слуг с тем, чтобы лишить их и недостатков, сообщить им исправность механизма, заменить бренность тела выносливостью стали и меди».

А вот слова Араго о роли машины Уатта:

«Уатт, господа, сотворил от шести до восьми миллионов работников, неутомимых, прилежных, между которыми не бывает ни стачек, ни бунтов и из которых каждый стоил в день только 5 сантимов».

Так, ещё в «прекрасной заре» своего восхода капитализм мечтал получить в свои руки силу, которая вообще бы уничтожила источник его беспокойства — рабочий класс. В эпоху империализма эти тенденции становятся ещё более острыми и не прикрытыми.

Характерна, например, реакция на издание «электронного мозга», т. е. электронно-счётных машин, которые якобы признаны заменить умственный труд наподобие того, как обычные машины «заменили» физический труд. Создание заводов-автоматов, управляемых нажатием кнопки, как кажется, приводит к осуществлению «важной мечты» капиталистов. Но опыт истории учит, что развитие техники втягивает все большие и большие массы людей в сферу общественного производства.

преткновения для понимания учащихся. Таким образом, «мера движения — работа» с железной необходимостью вторгалась в естествознание и технику.

Мы знаем, что уже Галилей в свой термин «момент» или «импето» часто вкладывал смысл произведения силы на путь, что Лейбниц, предлагая свою меру движения — «живую силу», исходил из принципа эквивалентности движений, обладающих одинаковым значением ph . В дальнейшем Л. К а р н о в своём трактате о машинах устанавливает связь между живыми силами и механической работой и предлагает оценивать действие машины произведением поднятого груза на высоту. Это произведение К а р н о обозначил, как «действующий момент» (*moment d'active*). М о н ж называл работу «динамическим эффектом» (*effet dynamique*). Но уже в 1807 г. Ю н г в своих «Лекциях по натуральной философии» писал: «Почти во всех случаях, встречающихся в практической механике, *работа*, необходимая для воспроизведения движения, пропорциональна не моменту, а *энергии* произведенного работой движения». «Словом энергия следует обозначать произведение массы или веса тела на квадрат числа, выражающего скорость».

Наконец, в 1829 г. в трактате «Введение в техническую механику» П о п с е л е (1788—1867) окончательно удерживает по совету К о р н о л и с а термин «работа» и высказывает принцип сохранения энергии в механических процессах: удвоенная алгебраическая сумма работ равна сумме живых сил (mv^2), работа или живая сила никогда не получается из ничего и не превращается в ничто, а только преобразуется.

Таким образом, практики пащупали правильную меру движения. Однако в теоретической механике ещё господствовала безнадёжная путаница понятий, связанная в первую очередь со словоупотреблением «сила». А когда термин «сила» стал с различными прилагательными (химическая сила, электрическая сила, жизненная сила и т. п.) применяться в самых разнообразных областях естествознания, то положение ещё более осложнилось, и в лабиринте «сил» запутался даже такой мощный ум, как Фарадей. В теоретической механике, наряду с ньютоновским понятием силы и количества движения (импульс), имели хождение величины «живые силы» (mv^2), «действие» (mvs или mv^2t). В 1828 г. в «Трудах Ирландской академии» вышла знаменитая «Теория системы лучей» Г а м и л ь т о н а, значение которой выявилось только в двадцатых годах нашего века, а в 1834—1835 гг. в тех же «Трудах» появилась его работа «Об общем методе динамики», содержащая мощный принцип Гамильтона. В этих исследованиях устанавливается замечательная аналогия между движением световых волн в среде с переменным показателем преломления и движением частицы в силовом поле. Эта аналогия находит своё выражение в соответствии между принципом Ф е р м а в геометрической оптике и принципом наименьшего действия М о п е р т ю и в механике. Последний принцип был уточнён и обобщён Гамильтоном. Для описания движения Гамильтон вводит новые переменные и новые функции. Из этих последних особенно замечательна «силовая функция», с помощью которой выражаются силы, зависящие только от конфигурации взаимодействующих частиц. Функция Гамильтона для случая стационарных консервативных сил представляет не что иное, как полную энергию системы. То, что мы называем теперь потенциальной энергией, у Гамильтона обозначается как «сумма сил напряжения», а кинетическая энергия — как «сумма живых сил».

Мы не будем здесь входить в обсуждение по существу замечательных исследований Гамильтона, повторяем, что их оценка и дальнейшее развитие наступили позже. Здесь они нас интересуют как определённый этап в выработке математических понятий, необходимых для формулировки

различных частных случаев принципа энергии. Понятие потенциальной энергии и тесно связанное с ним понятие потенциала (или обратной по знаку силовой функции) принадлежит к числу таких понятий. Но Гамильтон не был пионером в введении этой фундаментальной в математической физике величины. Мы говорили уже об Эйлере, Лагранже, Лапласе и Пуассоне. Здесь мы должны упомянуть о классической работе даровитого пекаря Грина (1793—1841) «Опыт приложения математического анализа в теории электричества и магнетизма», вышедшей в 1828 г. Грин ввёл «потенциальную функцию», установил для неё математические соотношения (формулы Грина, функция Грина) и применил к решению электростатических и магнетостатических задач. Хотя работы Гамильтона и Грина и не привлекли вначале должного внимания, однако новая функция, полу-

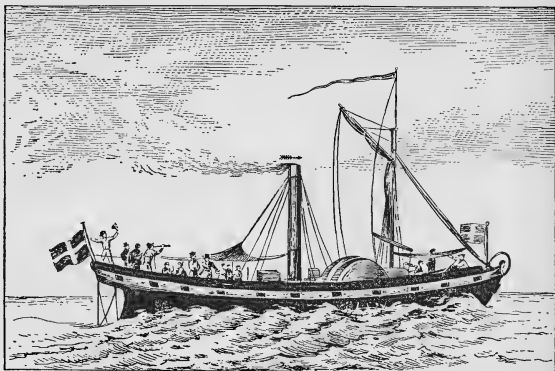


Рис. 221. «Грет Вестерн».

чившая название «потенциала», в сороковых годах вошла во всеобщее употребление благодаря Гауссу, сочинение которого «Общие теоремы, касающиеся притягательных и отталкивательных сил, действующих обратно пропорционально квадрату расстояния», вышло в 1839 г. в четвёртом томе «Результатов наблюдений магнитного общества», издаваемого Гауссом и Вебером.

Итак, математические абстракции, необходимые для формулирования принципа, к сороковым годам были выработаны, равно как и была завершена его формулировка в механике (теорема живых сил, консервативные силы).

Всрьёмся, однако, к тем материальным и общественным предпосылкам, которые стимулировали возникновение нашего принципа. Развитие паротехники в первой трети XIX в. обеспечило дальнейшее победное шествие «его величества пара». Усовершенствование конструкций паровых машин обеспечивало повышение их коэффициента полезного действия и расширяло область их применения. Введение парового двигателя в тран-

спорте имело огромное революционизирующее значение. Впервые мысль о применении «силы огня» для передвижения возникла в судоходстве. Мы упоминали уже о лодке Папина, разбитой судовладельцами Касселя. В 1736 г. Джо Гульс взял патент на применение Ньюкомновской машины для движения судна (паровая лодка). Трагически покончил с собой, отчаявшись реализовать своё изобретение, Фиш. В его лодке паровая машина приводила в движение вёсла. Фультону пришлось затратить много сил, чтобы убедить людей в практической полезности парохода. Наполеон готовился форсировать Ламанш, когда к нему явился смелый



Рис. 222. Повозка Кюньо.

изобретатель со своим проектом. Успех был более чем сомнительный. Наполеон счёл Фультона за шарлатана и выгнал его из кабинета. «Он уверял меня, что можно двигать суда с помощью кипятка», — объяснял свой гнев полководец.

Только в Америке в 1807 г. на реке Гудзон пошёл первый пароход Фультона «Клермонт». В Европе первый пароход пошёл в Шотландии по р. Клайде в 1812 г. Этот пароход был построен знакомым Фультона механиком Беллем. Вначале пароходы применялись только на реках, но затем они появились и на море. С 1838 г. установилось регулярное пароходное сообщение. Первые пароходы были колёсными. Но в 1839 г. шведский изобретатель Эрикссон предложил применить винт. Винтовые пароходы начали вытеснять колёсные с тех пор, как в 1843 г. винтовой фрегат «Прайстон» победил в состязании на скорость знаменитый колёсный пароход «Грет Вестерн» (который был одним из первых пароходов, переплывших Атлантический океан).

Значительно сложнее оказалась задача применения пара в сухопутном транспорте. Тяжесть котла, топлива, воды, самой машины казались почти непреодолимым препятствием. Плохо было изучено трение, и хотя конно-железные дороги в английских конях применялись уже в XVIII в., однако мысль о возможности замены живого двигателя паровой колёсной машиной казалась весьма несообразной.

Предполагалось, что трение колёс о рельсы будет настолько незначительным, что необходимого «зацепления», создающего движущий момент не получится. В 1770 г. К ю н ь о сконструировал паровую повозку (рис. 222), которая, вопреки предсказаниям скептиков, пошла, но оказалась трудноуправляемой и налетела на стену.

В Америке энтузиастом паровых «самодвижущихся» экипажей был Оливер Э в а н с (1755—1814), который вполне был уверен в возможности применения машины высокого давления для транспорта. Такую машину он спроектировал в 1786 г., а в следующем году возбудил ходатайство о патенте на паровую повозку. Однако практически реализовать свои идеи он смог только в 1801 г., когда ему удалось построить вседвухколёсную землечерпательную машину «амфибию».

В 1805 г. Эванс выпустил «Руководство машиностроителя», в котором излагались его идеи и проекты, в частности идея жаротрубного котла. Но неудачи преследовали изобретателя, в 1819 г. сгорели его мастерские, вскоре за пожаром последовала смерть.

Существенно, что изобретателям паровозов приходилось бороться не только с сопротивлением приверженцев старины, но и с новаторами техники, идущими по другим путям. Уатт был противником паровых экипажей и паровозов; он считал опасным и недопустимым применение машин высокого давления. Его

талантливому ученику и помощнику М е р д о х у пришлось строить свою паровую повозку тайком от учителя. Мердоху помогал тринадцатилетний Т р е в е т и к, ставший убеждённым сторонником нового дела. Нелегко и небезопасно было строить самодвижущиеся экипажи. Взрывы котлов при тогдашнем уровне машиностроительной техники были нередким явлением. «Треветика надо повесить», — говорил Уатт, услышав о такой аварии. Всё же Треветик удалось построить первый паровоз и доказать возможность его движения по гладкому рельсовому пути. Но заинтересовать промышленников в своём изобретении ему не удалось, и паровоз долго играл роль аттракциона.

Причина неуспеха талантливых изобретателей при всей их убеждённости и настойчивости заключалась не только в инертности общества, но и в крайнем несовершенстве их изобретений. Малопродуктивные котлы не обеспечивали достаточно мощной и непрерывной подачи пара в цилиндр. Сохранился ещё неулучшенный баланси́р, не решена была ещё задача непрерывного действия. Наконец, несмотря на опыты Треветика, считалось, что паровоз не в состоянии тянуть повозки с общим весом, превышающим его собственный вес. Предполагалось, что трение колёс паровоза о рельсы такое

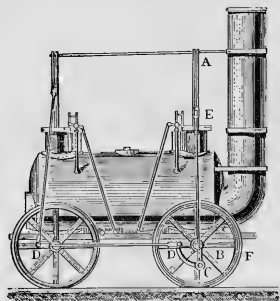


Рис. 223. Паровоз Треветика.

же, как трение вагонов о рельсы. Поэтому техническая мысль искала путей создания искусственного «упора». Так в 1811 г. Блэккинсон взял патент на паровоз с зубчатыми колёсами, движущимися по зубчатой рейке. Этот паровоз был построен Муррессом.

Брунтон снабдил паровоз специальными «ногами» — толкачами. Но инженер Хедлей решил изучить вопрос экспериментально. Его опыты доказали, что трение самодвижущегося экипажа (ведущих колёс) значительно превосходит трение ведомых колёс и что можно обеспечить тягу поезда, вес которого будет превышать вес самого паровоза. «Пыхтящий Билли» — паровоз Хедлея — был построен в 1813 г. И всё же при тогдашнем состоянии железнодорожных путей проблема парового транспорта ещё не была решена. Её решение выпало на долю сына кочегара Джорджа Стефенсона (1781–1848).

Рано начав трудовую жизнь, Стефенсон в 17 лет был уже машинистом при паровой машине в Келвингторских



Рис. 224. «Ракета» Стефенсона.

пахтах. Здесь он имел возможность изучить технику паровых машин, а в дальнейшем и работу железных дорог с применением паровозов. Он пришёл к выводу, что улучшение конструкции паровозов с одновременной реконструкцией рельсовых путей даст необычайный эффект. Ему удалось заинтересовать влиятельных людей и добиться разрешения для постройки железнодорожной линии Стоктон — Дарлингтон. Когда образовалась компания по строительству и эксплуатации этой линии (Пиз, Стефенсон), Стефенсон пророчески указал, что он предвидит в будущем широкое развитие железнодорожного транспорта, указав на его демократичность, на доступность всем слоям общества.

Линия была открыта 25 сентября 1825 г., и эта дата считается начальной в истории железнодорожного сообщения. Линия обслуживалась паровозом Стефенсона («Локомошен № 1»), но одновременно была и конная тяга для пассажирского движения.

Успех первого опыта поставил на очередь вопрос о строительстве новой линии широкого значения. В парламенте было возбуждено ходатайство о строительстве дороги Манчестер — Ливерпуль. Не случайно, что в первую очередь встал вопрос именно об этой трассе. Ливерпуль — это второй после Лондона порт, через который в страну поступала основная масса хлопка, а Манчестер — крупнейший центр хлопчатобумажной промышленности. Несмотря на то что город находился на судоходной реке Мер-

сей и был соединён с морем каналом, транспорт представлял серьёзное препятствие для его растущей промышленности и торговли. Манчестер был центром так называемого «фритредерства», т. е. движения торговой и промышленной буржуазии за свободу торговли, которому противостояла партия крупных землевладельцев-помещиков, чьи интересы защищали «тори» (консерваторы).

Вокруг нового проекта загорелась ожесточённая борьба. Помещики и лорды всячески сопротивлялись утверждению проекта. В результате новую линию пришлось проводить по крайне неудобным местам, непроходимой болотной топи, через холмы и т. д. Молодая отрасль техники, техника железнодорожного строительства, встретила с серьёзными препятствиями. Надо было устраивать надёжное основание и насыпи на болотах, прорывать туннели через холмы. К этому прибавлялось ожесточённое противодействие землевладельцев, организовавших нападение на разведывательные и строительные партии. Да и у самих инициаторов строительства ещё не было доверия к паровой тяге и считалось, что тяга останется конной.

Стефенсон взялся изготовить локомотив, который сможет развивать скорость до 30 миль в час. В своём локомотиве он применил жаротрубные котлы, не зная, что аналогичное изобретение было сделано уже Сегеном. На знаменитом соревновании паровозов 1 октября 1829 г. победа осталась за стефенсоновской «Ракетой», которая могла развивать скорость до 35 миль в час. Вопрос о паровой тяге был решён, и 15 сентября 1830 г. линия Манчестер — Ливерпуль была открыта.

Огромная прибыль, принесенная дорогой за первый год её существования, разрешила все сомнения. Те лорды, которые загоняли новую дорогу в непролазные топи, теперь соглашались пропустить трассу «через свою собственную спальню». Началась железнодорожная горячка. В 1832 г. была построена первая железная дорога во Франции (любопытно, что Араго был противником дорог), в 1835 г. — в Германии. Особенно интенсивно развернулось железнодорожное строительство в США.

В России первая заводская дорога с паровой тягой была построена крепостными Демидова, отцом и сыном Черепановыми, на Урале, в Нижнем Тагиле, протяжённостью в 400 саж. Она была проложена между месторождением медных рудников, находящихся у подножия горы Высокой, и медеплавильным заводом, расположенным на реке Вые, с целью удешевления доставки сырья к месту производства.

Первый паровоз, построенный отцом Ефимом и сыном Мироном Черепановыми, потерпел неудачу. При его опробовании взорвался котёл. Но это не сломило упорства талантливых железнодорожных мастеров, и в 1834 г. был построен новый паровоз, пущенный в эксплуатацию на упомянутой выше железной дороге. Этот первый паровоз, выстроенный в России, назывался «сухопутный пароход» и «ходил по колёсопроводам», поднимая груз до 3,5 тонн, со скоростью около 15 километров в час. Вскоре Демидовы заказали Мирону Черепанову к постройке второй «сухопутный пароход» увеличенной мощности.

Таким образом, Черепановыми, этими высокоодарёнными русскими новаторами, впервые была построена в России не только железная дорога, но и её подвижной состав.

30 октября 1837 г. была торжественно открыта вторая железнодорожная линия Петербург—Царское село. Это расстояние поезд из 8 вагонов прошёл за тридцать пять минут.

Успехи паротехники и явились одной из основных материальных предпосылок для закона сохранения энергии. Не случайно, что в первой из напечатанных работ Майера фигурирует паровоз в качестве иллюстрации идеи

превращения сил, а в его фундаментальной работе 1845 г. находим указание, что паровые машины 1828 г. потребляли топлива при одинаковой мощности в 17 раз меньше первых уаттовских машин.

Серьёзные успехи в физиологии, позволившие отказаться от воззрения на таинственную «жизненную силу», и введение жизненных процессов в круг обычных естественных процессов явились второй существенной предпосылкой нового закона. Эти успехи стали возможными в результате развития химии и физики, и в первую очередь развития химии горения и калориметрии.

Ещё в начале XIX в., по словам К. А. Тимирязева, «физиология выступала... с сомнением насчёт приложимости к организмам двух основных законов Лавуазье — законов сохранения вещества и постоянства элементов. Совокупностью целого ряда исследований, в которых на первом месте следует поставить труды Сенбье, Соссюра, Бусенго и Лпбиха, и главным образом тех исследований, которые доказали, что самый важный свой элемент — углерод — растения черпают из воздуха, удалось поставить вне сомнения, что все свои элементы растения заимствуют из тройкой среды, их окружающей, — почвы, воды и воздуха. Таким образом выяснилось, что организмы подчиняются основным законам Лавуазье, а также определена и химическая характеристика растения — в нём вещество неорганическое, минеральное, превращается в *органическое*».

Это воззрение на организм как на своеобразную химическую лабораторию и подводило вплотную к вопросу о сохранении энергии. Химики уже определяли теплоту химических реакций, и в первую очередь реакцию горения. Уже в 1840 г. петербургский академик Гесс мог высказать важное положение касательно теплот, выделяющихся при химических реакциях. Это положение в современной точной формулировке можно выразить так: «Полное количество тепла, выделяющегося при переходе группы *A* веществ в группу *B* веществ, не зависит от способа этого перехода, т. е. от рода и числа промежуточных реакций, если только физическое состояние групп *A* и групп *B* во всех случаях перехода одно и то же».

Закон можно выразить символически так:

$$Q_{AB} = U_B - U_A,$$

где U_{AB} — количество тепла, выделившегося (или поглотившегося) при переходе от группы веществ *A* к группе веществ *B*. Закон Гесса означал, что химики практически уже подошли к формулировке закона сохранения энергии. Вполне понятно, что физиологические исследования послужили толчком к открытию того же закона. «Явления траты и разрушения вещества в организме невольно наводят на размышления о том, что же выигрывает он от этой траты, и приводят нас к рассмотрению второй великой проблемы, поставленной и в значительной мере разрешённой физиологией в минувшем столетии, — к проблеме *превращения энергии*».

«Творцы этого физического учения, Майер и Гельмгольц, оба были физиологами и отъявленными врагами витализма; для них оно было особенно ценно тем, что не оставляло места для этой таинственной жизненной силы. Все проявления энергии в организме должны быть прослежены до какого-нибудь известного её физического или химического источника; ни одна единица механической работы, ни одна *калория*, так же как ни один атом вещества, не могут быть созданы этой таинственной силой. Мышечная работа, животная теплота происходят за счёт потенциальной энергии, заключённой в органическом веществе, принятом в пищу» (Тимирязев).

Так обстоит дело со второй основной предпосылкой закона.

Наконец, те успехи, которые были достигнуты физиками в доказательстве единства и превратимости сил природы (превращение электри-

чества в тепло и обратно, превращение электричества в магнетизм и обратно), явились третьей основной предпосылкой закона.

Первое место в развитии этой предпосылки бесспорно принадлежит Фарадею. «Старое и неизменное убеждение, что все силы природы зависят друг от друга, имея общее происхождение или, скорее, будучи различными проявлениями одной основной силы, часто заставляло меня думать о возможности доказать на опыте связь между тяжестью и электричеством и, таким образом, ввести первую в грушу, цепь которой, включая магнетизм, химическую силу и теплоту, связывает вместе общими отношениями многие различные проявления силы». Такими словами Фарадей начал серию исследований о связи тяготения с электричеством. Вполне понятно, что при наличии таких мощных предпосылок идея закона появилась в воздухе.



Ленц

Очень важную роль в развитии учения о превратимости сил природы сыграли исследования Л е н ц а, примыкающие в этом отношении к исследованиям Фарадея. Хотя Ленц, также как и Фарадей не формулировал прямо принципа превращения энергии, но его замечательные работы по электричеству имеют явную энергетическую направленность и существенным образом содействовали укреплению закона. Поэтому с полным правом Ленц занимает одно из первых мест в плеяде творцов и укрепителей закона сохранения энергии.

Эмиль Христианович Ленц родился 12 февраля 1804 г. в Дерпте, ныне Тарту. По окончании в 1820 году гимназии Ленц поступил в университет и в связи с тяжелыми семейными обстоятельствами, не рассчитывая найти дорогу к светской карьере, стал готовиться к духовной. Однако склонность к естественным наукам победила, и ректор университета Паррот, заметив эту склонность, рекомендовал юношу Ленца на должность физика в кругосветную экспедицию Коцебу 1823 г.

Ленц блестяще оправдал данную ему рекомендацию. Им в содружестве с Парротом были сконструированы приборы: глубомер, для измерения глубинных температур, впоследствии вновь изобретенный В. Томсоном, и батометр — прибор для взятия проб воды, также заново перестроенный Петтерсоном и Нансеном.

Во время экспедиции Ленц производит океанографические, астрономические, магнитные наблюдения и одновременно пополняет свои знания в области физико-математических наук.

Труды Ленца в экспедиции Коцебу получили высокую оценку. Так, адмирал С. О. Макаров в 1892 г. писал о его океанографических исследованиях: «Наблюдения Ленца не только первые в хронологическом отношении, но первые и в качественном, и я ставлю их выше своих наблюдений и выше наблюдений Челленджера».

Труды Ленца получили высокую оценку и у современников: профессора Петербургского университета Н. П. Щеглова, академиков Паррота,

Фусса и Коллиже, по представлению которых 5 мая 1828 г. Ленц избирается адъюнктом по физике. Вскоре Ленц командирован в экспедицию на Кавказ и Крым и производит геофизические и астрономические наблюдения. Из экспедиции он возвращается 23 мая 1830 г. в Петербург, где его ожидает известие о заочном избрании в экстраординарные академики.

Двадцатипятилетний академик достойно ответил на оказанную ему честь. Продолжая заниматься обработкой результатов экспедиций, Ленц вскоре обращается к той области, в которой ему было суждено прославить и себя и русскую науку, — к электричеству.

Получив известие об открытиях Фарадея, Ленц немедленно принялся за тщательное обследование процесса электромагнитной индукции. 7 ноября 1832 года он представил академии доклад: «О законах действия магнита на спираль при внезапном его приближении или удалении и о наилучшем устройстве спирали для магнито-электрических цепей». В этой работе Ленц закладывает основы баллистического метода, измеряя отброс стрелки мультипликатора, обмотка которого соединена с обмоткой катушки в свою очередь обвивающей якорь магнита, при внезапном отрыве якоря от магнита. Хотя Ленц еще неправильно принимал отброс пропорциональным силе тока, а не количеству электричества, как это есть на самом деле, тем не менее в результате тщательных и продуманных измерений он приходит к важному выводу, о независимости э. д. с. индукции от материала и диаметра провода обмотки, а также о независимости её от диаметра катушки. Очень существенно, что в этой работе Ленц выступает сторонником закона Ома, значение которого, как мы уже указывали, далеко не было оценено современниками. Своими трудами Ленц в немалой степени содействовал укреплению и развитию основополагающего в электротехнике закона. Об этом мы скажем далее, при рассмотрении истории развития учения об электричестве.

Через год после названного исследования появилась новая фундаментальная работа Ленца: «Об определении направления гальванических токов, вызванных электродинамической индукцией» (доложена в Академии 29 ноября 1833 г.). В этой работе Ленц, анализируя результаты индукционных и электродинамических опытов Фарадея, Ампера, Де ля Рива, Барлоу и своих собственных, приходит к известному закону, известному под именем «Правила Ленца», которые он здесь формулирует следующим образом: «Если металлический проводник перемещается вблизи тока или магнита, то в нём возникает гальванический ток. Направление этого (возбужденного) тока таково, что покоящийся провод пришёл бы от него в движение прямо противоположное действительному перемещению. Предполагается, что провод может двигаться только в направлении действительного движения или в прямо противоположном направлении».

В 1838 г. Ленц свой закон формулирует следующим образом: «Каждый электромагнитный опыт может быть обращен таким образом, что он приведет к соответствующему магнитоэлектрическому опыту. Для этого нужно только сообщить проводнику гальванического тока каким-либо иным способом то движение, которое он совершит в случае электромагнитного опыта, и тогда в нём возникает ток направления, противоположного направлению тока в электромагнитном опыте».

Исследования Ленца дали Гельмгольцу возможность подтвердить на примере явления электромагнитной индукции (вывод Гельмгольца см. ниже) закон сохранения энергии. Гельмгольц в своем сочинении ссылается на четыре работы Ленца. Кроме уже упомянутых это были исследования о тепловых и химических действиях тока.

В 1838 г. Ленц совместно с Якоби исследует действие электромагнитных машин. Они устанавливают важный факт, что максимальное действие таких машин — двигателей пропорционально площади цинковых электродов. Тем самым, по существу, ими был открыт закон сохранения энергии для случая превращения химической энергии в механическую.

В декабре 1842 г. Ленц приступил к исследованию тепловых действий тока. Результаты исследований были опубликованы в поггендорфовских «Анналах» в 1844 г. Аппарат Ленца представлял собой опрокинутый вверх дном стакан, укрепленный на доске. Отверстие стакана закрывалось стеклянной пробкой, в которую были впаены две проволоочки, служащие для подвода тока к спиральной проволочке, помещенной внутри стакана. В дне стакана имелось отверстие, закрываемое пробкой с термометром. Исследования Ленца показали, что выделяемая теплота пропорциональна квадрату силы тока, сопротивлению проволоки и времени прохождения тока. Это известный ныне закон Джоуля-Ленца является ничем иным, как законом превращения электрического тока в тепло. Ленц показал при этом, что количество выделившегося тепла определяется площадью цинковых электродов батареи, т. е. количеством растворенного цинка. Следовательно, и в этом случае Ленц закладывает основы энергетики, электрохимических реакций.

Очень существенно, что Ленцу принадлежит приоритет в открытии принципа обратимости электромагнитных генераторов. Этот принцип по существу уже содержится в его формулировке правила для определения направления индукционного тока. Но Ленц в 1838 г. практически обратил в двигатель магнитоэлектрическую машину Пикси, опередив таким образом на 22 года Пичинотти, и на 35 лет Фонтена, которым обычно приписывается этот приоритет.

Об основополагающих работах Ленца по электричеству мы скажем в другом месте. Здесь важно отметить, что Ленц отчетливо указывал на важное энергетическое значение электричества еще в 1839 г. в своей речи на университетском акте. Указав, что основными энергетическими ресурсами являются силы живых существ и теплота, как солнечная (сюда же Ленц относит энергию воды и ветра), так и получаемая от топлива, Ленц обращает внимание на быстрое истощение топливных ресурсов: лесов и ископаемых. «Поэтому обязанностью сознательной и думающей современности является по возможности щадить капитал, на который наши потомки будут иметь то же право, что и мы сами, и, следовательно, обратить свои взоры на другие вспомогательные источники...» И Ленц указывает, что имеется «источник движущей силы — электричество или гальванизм, который действительно дает обоснованную надежду хотя бы частично заменить службу пара». Хотя этот источник также получается за счет горения цинка в элементах, но «металл, растворяющийся в гальваническом элементе, может быть возможно снова выделен без значительных затрат или же найти полезное применение в растворе».

«Если таким образом гальванизм является единственным источником, из которого мы можем черпать механическую силу, то связанные с этим опыты имеют слишком большое значение, для того, чтобы им не были принесены некоторые денежные жертвы и мы с радостью должны отметить, что Россия раньше всех других стран стала на эту возвышенную точку зрения».

Таким образом Ленц ясно представлял энергетическую сущность электрических явлений, но общее эмпирическое направление его творчества мешало ему увидеть в своих опытах великий принцип естествознания.

Обширная и многосторонняя деятельность Ленца: преподавательская, организационная, техническая, отнимала у него здоровье и силы. В 1864 году он получил годичный отпуск для лечения в Рим. Здесь он скоропостижно скончался 10 февраля н. с. 1865 года.

Переходим к рассмотрению жизни и деятельности другого основоположника закона сохранения энергии: Р. Ю. Майера.

Роберт Юлий Ма й е р родился 25 ноября 1814 г. в Гейльбронне в семье аптекаря. По окончании средней школы Майер поступил в Тюбингенский университет на медицинский факультет. Здесь он не слушал математических и физических курсов, но зато основательно изучил химию у Гмелина. Закончить университет в Тюбингене без перерыва ему не удалось. За участие в запрещенной сходке он был арестован. В тюрьме Майер объявил голодовку и на шестой день после ареста был освобожден под домашний арест. Из Тюбингена Майер уехал в Мюнхен, затем в Вену. Наконец, в январе 1838 г. ему разрешили вернуться на родину. Здесь он сдал экзамены и защитил диссертацию.

Вскоре Майер принял решение поступить на голландский корабль, отправляющийся в Индонезию, в качестве судового врача. Это путешествие сыграло важную роль в его открытии. Прежде всего отсрочка рейса корабля на полгода была использована им для работы в парижских клиниках, где он хотя и занимался только специальностью, но зато подружился с своим земляком — математиком и физиком Бауром, который впоследствии много ему помогал. Вероятно, также в Париже он мог глубже освоиться с применением идей Лавуазье о горении к вопросу о происхождении животной теплоты. Но самое важное, что идея открытия, обессмертившего имя Майера, родилась у него во время стоянки корабля в Сурабае на Яве.

Пуская кровь заболевшим матросам, он заметил, что она не была такого темного цвета, какой в умеренных странах обычно бывает венозная кровь, а приближалась по яркости к артериальной. Майер даже думал, что он повредил артерию. Но местные врачи объяснили ему, что такой яркий цвет венозной крови наблюдается всегда в тропических широтах. Для Майера стало ясно, что при высокой внешней температуре для поддержания теплоты тела нужно меньшее сгорание поступающих в организм веществ. Теперь он начинает напряженно размышлять над возникшей у него идеей. «Некоторые мысли, — писал он, — пронизавшие меня, подобно молнии, — это было на рейде в Сурабае, — тотчас с силою овладели мною и навели на новые предметы».

В феврале 1841 г. рейс закончился, корабль вернулся в Нидерланды, а Майер — в свой Гейльбронн. Здесь он прощупывает вопрос в беседах со своими знакомыми и в письме к Бауру формулирует свою основную мысль:

«Химик считает вообще за основной закон, что вещество неразруσιμο, что составляющие элементы и образованные ими соединения паходятся в необходимейшей связи, когда H и O исчезают (становятся качественно равными нулю) и появляется HO^1 , то химик не должен думать, что H и O действительно превратились в нули, а образование HO есть нечто случайное и несущественное; на строгом проведении этого закона покоится новейшая химия, которая одна, очевидно, и приводит к завершённым результатам».

¹ Т. е. вода. В то время формула воды писалась не H_2O , а HO .

«Совершенно те же основные законы мы должны прилагать и к силам; последние, как и вещество, неразрушимы; они вступают между собой в различные комбинации, исчезают таким образом в старой форме (становятся качественно равными нулю), но выступают в новой, причём соотношение между старой и новой формой так же существенно, как существенно соотношение между Н и О, с одной стороны, и НО, с другой. Силы (я не пренебрегу, если тебе угодно, строго философским развитием этого понятия) — это движение, электричество и теплота».

Майер не ограничивается письмами к Бауру. Он набрасывает краткий незаконченный очерк своего открытия в виде статьи, которую направил Поггендорфу, редактору журнала «Annalen der Physik». Статья называлась «О количественном и качественном определении сил». Сопроводительное письмо редактору датировано 16 июля 1841 г. Эта статья не была напечатана. Поггендорф не счёл нужным даже ответить Майеру, который просил в случае отказа в напечатании вернуть рукопись. Рукопись осталась в бумагах Поггендорфа и была найдена только после его смерти в 1875 г. Она была опубликована Целльнером в 1881 г.

Статья эта не закончена (в конце так и стоит: «продолжение следует») и несовершенна. Основой её порок заключается всё в том же злосчастном термине «сила», с которым в механике Майер запутался. Но основная идея сформулирована глубоко. Майер считает, что изменения в мире обусловлены наличием «разностей». Понятие «разности», как видно из контекста, совпадает с современным значением разности энергетических уровней. Действующие силы выравнивают эти разности, но искупают стоимость движения и качественная превратимость его форм приводит Майера к замечательному выводу: «Таким образом принцип, согласно которому раз данные силы количественно неизменны, подобно веществам, *логически обеспечивает нам продолжение существования разностей, а значит, и материального мира*. Мы примем поэтому, что как наука, занимающаяся изучением вида бытия веществ (химия), так и наука, изучающая вид бытия сил (физика), должна считать количество своих объектов неизменным и только качество их изменяющимся».

Несмотря на несовершенство этой формулировки, в частности неправильного противопоставления химии (учение о веществе) физике (учение о силах), здесь выражена очень глубокая мысль о том, что закон сохранения материи и движения в состоянии обеспечить вечность материального мира.

Следующая статья Майера «Замечания о силах неживой природы» была напечатана в мае 1842 г. в «Annalen der Chemie und Pharmacie», журнале, издаваемом известным химиком Либихом. Здесь Майер в более законченной и чёткой форме, чем в первой неопубликованной статье, излагает новый принцип. В частности, за промежуток времени, протёкший от первой до второй статьи, Майер порвал с пониманием слова «сила» в ньютоновском и лейбницевском значениях и остановился в качестве меры механического движения на лейбницевской мере. Изложим содержание и основные положения этой работы Майера.

Основной целью работы является, как указывает Майер, выяснение понятия «сил» и их взаимоотношений. «Силы суть причины; следовательно, к ним имеет полное применение аксиома: *causa aequat effectum* (причина равна действию)» — такова исходная посылка Майера, из которой вытекает основное свойство сил — их *неразрушимость*. Второе свойство причин — их способность принимать различные формы: «причины суть (количественно) *неразрушимые* и (качественно) *способные к превращениям* объекты».

Эти общие свойства причин относятся к двум основным причинам природы: материи, характеризуемой весомостью и непроницаемостью, и к силам. «Силы суть, следовательно, *неразрушимые, способные к превращениям невесомые объекты*». Как видим, Майер ещё не может избавиться от метафизической непоследовательности и дуалистически противопоставляет невесомую силу весомой материи. Но этот дуализм материи и энергии живуч и по настоящее время, и сколько современных авторов ещё толкует о превращении «вещества в энергию». Мы остановимся в конце на подлинно научных и ясных воззрениях Энгельса на этот вопрос.

Попрежнему Майер отправляется от аналогии с законом сохранения и превращения вещества в химии и переходит к формулировке своего принципа. Здесь прежде всего он рассматривает «силу падения» и указывает, чем она отличается от силы тяжести. Определение силы падения у Майера гласит: «*пространственная разность весовых объектов есть сила*; так как эта сила обуславливает падение тел, то мы её называем *силой падения*». •

Силу падения нельзя смешивать с силой тяжести в механике, последняя есть измещивое, *непревратимое свойство* тел, в то время как сила падения обладает существенно присущим каждой силе *единством* неразрушимости и способности к превращениям. «Для того чтобы тело могло падать, — говорит Майер, — для этого его *поднятие* необходимо не менее, чем его *тяжесть*, поэтому не должно только одной последней приписывать падение тел». Итак, Майер в данном конкретном случае раскрывает смысл своего словоупотребления «сила» и его отличие от ньютоновской силы. «Сила падения» Майера — это не что иное, как потенциальная энергия тяжёлого тела, точнее, разность потенциальных энергий в начале и конце пути падения.

Это понимание силы падения даёт возможность Майеру установить её эквивалентность движению, развиваемому в конце пути падения. С точностью до постоянного множителя уравнение Майера есть закон сохранения энергии в поле силы тяжести:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}.$$

«Мы получаем, — говорит Майер, рассмотрев пример с переходом силы падения в движение, — закон сохранения живых сил, как основанный на общем законе неразрушимости причин».

Но мы наблюдаем бесчисленное число раз, как исчезает движение в конце падения, хотя по повому принципу оно исчезнуть не может, а только перейти в другую форму. Отсюда естественно вытекает постановка Майером вопроса: «какую дальнейшую форму способна принять сила, которую мы познали как силу падения или движения?»

Майер не знал, что ни Декарт, ни Ломоносов нмало не сомневались в том, что прекращение видимого движения камня при падении на землю



Роберт Майер.

означало появление невидимого движения частиц, соприкоснувшихся друг с другом при падении камня на землю, так же как он не знал, что Ломоносов рассматривал такое невидимое движение частиц как теплоту. Он хочет решить этот вопрос в духе современного ему естествознания опытным путём и говорит: «Разъяснение этого нам может дать только опыт». Он указывает, что такой опыт никогда не был серьёзно поставлен. Но он ссылается на факт уничтожения движения трением и появления тепла при этом, ссылаясь на опыты Дэви плавления льда трением, на свои опыты нагревания воды встряхиванием. Не делая (пока) никаких гипотез о природе тепла, Майер приходит к выводу: «Но если теперь установлено, что для исчезающего движения во многих случаях (a *«exceptio confirmat regulam»*) — исключение подтверждает правило) не может быть найдено никакого другого действия, кроме тепла, а для возникшего тепла — никакой другой причины, кроме движения, то мы предпочитаем допущению существования причины без действия и действия без причины допущение, что *тепло возникает из движения*, подобно тому как химик вместо скептического допущения исчезновения Н и О возникновения необъяснимым образом воды устанавливает связь между Н и О, с одной стороны, и водой — с другой».

Таким образом, Майер продолжает цепляться за спасительную аналогию с законом Лавуазье, ибо у него не хватает достаточной философской выучки и той смелости в применении гипотез, которую мы находим у Ломоносова. Цепь сила падения — движение — тепло кажется ему составленной из чересчур различных качественно звеньев, скрывающих в себе нечто количественно неразрушимое. Мысль о том, что все звенья суть различные формы движения, понимаемого в более широком смысле слова, чем молярное механическое движение, ему не приходит в голову. Более того, он высказывает положение, причинившее впоследствии ему немало неприятностей в связи со спором о приоритете:

«Между тем, сколь мало может быть, на основании имеющейся связи между силой падения и движением, сделан вывод, что сущность силы падения есть движение, *столь же мало этот вывод имеет значение и для тепла*. Более того, мы могли бы сделать *противоположное заключение, чтобы сделаться теплом, движение*, — будет ли оно прозным или вибрирующим, как и свет, лучистая теплота и т. д., — *должно перестать быть движением*».

На основании этой цитаты ярый противник Майера Тэт в своих «Лекциях о новейших успехах физики» говорит, что «...Майер даже и не думал, что теплота зависит от движения, это обстоятельство является, пожалуй, лучшим комментарием к последовательности тех, которые постоянно говорят о теплоте как «о роде движения» и в то же время считают Майера основателем новой теории теплоты».

Впрочем, ограниченная философская и историческая эрудиция Тэта, этого «правовального шотландца», по выражению Энгельса, достаточно известна и, может быть, не стоило упоминать об этой «защепке» его за цитату из Майера, если бы не трагическая судьба самого Майера, о которой мы скажем ниже.

Не умея пока ещё нащупать истинную связь различных сил, Майер ссылается на факт образования тепла при адиабатическом сжатии и сравнивает с таким сжатием падение весовых масс. Это, по его мнению, даёт достаточно наглядную интерпретацию появлению тепла при падении, и обратно, исчезновению тепла при появлении движения, увеличения объёма, поднятия груза. «Паровые машины служат снова для превращения тепла в движение или поднятие груза. Локомотив с его поездом может быть срав-

нен с перегонным аппаратом; тепло, разведённое под котлом, превращается в движение, а таковое снова осаждается на осях колёс в качестве тепла».

Майер заключает свою статью указанием на необходимость установления численного эквивалента этих различных сил. «Например, мы должны были бы определить, как высоко должен быть поднят определённый груз над поверхностью земли, чтобы его сила падения была бы эквивалентна нагреванию равного ему по весу количества воды с 0° до 1° ».

Майер указывает, что материалом для подобных расчётов может служить разница в теплоёмкостях газов при постоянном давлении и при постоянном объёме. Опираясь на современные ему данные по этому вопросу, он находит, «что опускание единицы веса с высоты около 365 м соответствует нагреванию равного веса воды от 0° до 1° ». Не ограничиваясь этим первым определением механического эквивалента тепла, Майер делает вывод о низком коэффициенте полезного действия паровых машин и заканчивает изумительным по своей проникательности замечанием, что «это могло бы служить оправданием для попыток представить себе выгодный путь получения движения иным способом, чем посредством использования химической разности между С и Н, а именно — посредством превращения в движение электричества, полученного химическим путём».

Если подвести краткие итоги этой первой печатной работе Майера, посвящённой принципу сохранения энергии, то они сводятся к следующему.

1) Формулировка идеи о качественном превращении и количественном «сохранении «сил»».

2) Новое понимание «силы» (сила падения) в смысле энергии.

3) Установление понятия количественной эквивалентности сил (как Майер выражается в дальнейшем — «изомерия сил»).

4) Количественное определение механического эквивалента тепла ($1 \text{ ккал} = 365 \text{ кгм}$) на основе измерений теплоёмкости газов.

При этом Майер ещё не разделяет точки зрения на теплоту как форму движения и не знает, что принцип сохранения материи и движения с применением его к теории тепла и механике газов был уже высказан Ломоносовым. Равным образом ему остаётся неизвестным, что к принципу эквивалентности тепла и работы уже подходит или подошёл целый ряд лиц.

С 1841 г. Джоуль ведёт свои классические опыты по выделению тепла электрическим током, которые в 1843 г. приводят его к определению механического эквивалента тепла.

В 1837 г. Мор представил Поггендорфу свою статью «О природе тепла», в которой высказывается следующим образом: «В природе вещей, помимо известных 54 химических элементов, существует ещё только одно начало, и оно называется *силой*; при подходящих обстоятельствах это начало проявляется в виде движения, химического сродства, сцепления, электричества, света, теплоты и магнетизма, и из каждой из этих форм явлений могут быть получены все остальные. Та же сила, которая поднимает молот, может, если она применяется другим образом, произвести любое другое явление».

Таким образом, принцип единства и качественной превратимости различных форм движения Мором выражены вполне отчётливо. У него же мы находим кинетическое понимание природы газа («газообразным мы называем такое тело, у которого вибрации настолько усилены, что частицы его уже выходят за пределы этих притяжений и только взаимно отталкиваются»). Любопытно, что Поггендорф отказался напечатать статью Мора, как не содержащую никаких новых экспериментальных исследований. Статья была напечатана в журнале Баумгартнера «Zeitschrift für Physik»,

выходившем в Вене, причём сам Мор об этом не знал. Он узнал об этом только в 60-х годах и перепечатал статью отдельной брошюрой, вышедшей в 1869 г.

Не знал также Майер, что уже в 1840 г. датский инженер Кольдинг (1815—1888), апеллируя к метафизической идее бессмертия «нематериальных сил», также подошёл к принципу их сохранения и превращения. По совету Эрстеда, Кольдинг решил проверить свою идею экспериментальным путём и, построив специальные сани, изучал теплоту, выделяемую при трении их полозьев при разной нагрузке и разных поверхностях соприкосновения. Им было найдено значение эквивалента 350:1. Сообщение об этих результатах появилось в ноябре 1843 г.

Наконец, ещё в 1839 г. инженер-теплотехник Сеген высказывает мысль о движущей силе тепла, причём приписывает эту идею своему дяде Монгольфье. Но ни Майер, ни Джоуль, ни Кольдинг не знали, что в бумагах скончавшегося в 1832 г. С. Карно имеется ясная и недвусмысленная формулировка закона вместе с достаточно точной оценкой механического эквивалента тепла. Вот перевод этого отрывка:

«Тепло — не что иное, как движущая сила или вернее, *движение, изменившее свой вид; это движение частиц тел*; повсюду где происходит уничтожение движущей силы, возникает одновременно теплота в количестве, точно пропорциональном количеству исчезнувшей движущей силы. Обратно всегда при исчезновении тепла возникает движущая сила».

«Таким образом, можно высказать общее положение: *движущая сила существует в природе в неизменном количестве, она, собственно говоря, никогда не создается, никогда не уничтожается; в действительности она меняет форму, т. е. вызывает то один род движения, то другой, но никогда не исчезает*».

«По некоторым представлениям, которые у меня сложились относительно теории тепла, создание единицы движущей силы требует затраты 2,70 единиц тепла».

Единица движущей силы у Карно 1000 кГм. Отсюда значение механического эквивалента оказывается равным 370,4 кГм.

Нужно ли более яркое доказательство *необходимости* открытия принципа сохранения энергии в данную эпоху?

Тем временем Майер продолжает развивать и разрабатывать свой принцип. Его глубоко волнует, что идея, важность которой он живо чувствовал, проходит незамеченной. По совету Баура и Гринингера, он пишет новую развёрнутую работу. Она получила неудачное название «Органическое движение в связи с обменом веществ». «Анналы» Либиха не поместили работы, ссылаясь на перегруженность портфеля редакции, и Майер издал её отдельной брошюрой, вышедшей в 1845 г. в Гейльбронне.

Здесь Майер начинает также с нового определения «силы», опираясь на предпосылку «ex nihilo nil fit ad nihilum» (из ничего ничего не бывает), и вновь утверждает категорию неразрушимости и превратимости сил. Но теперь он полнее и отчётливее рассматривает различные формы движения и перечисляет их. На первом месте стоит механическое движение. «Движение есть сила» — утверждает Майер, ссылаясь на пример превращения движения при упругом ударе. Мера этой силы — живая сила, сохраняющаяся при упругом ударе.

На втором месте Майер ставит известную нам «силу падения». «Поднятие груза есть причина движения, есть сила». «Величина силы падения измеряется произведением веса на данную высоту». И движение, и сила падения могут быть обозначены общим именем «механический эффект». «Независимо от того, переходит ли сила падения в движение или движе-

ние — в силу падения, данная сила или механический эффект остаётся постоянной величиной. Этот закон — специальное приложение аксиомы о неразрушимости силы — вводится в механике под именем «принципа сохранения живых сил». Доказывается это свободным падением тела с любой высоты, падением по предначеченным путям, качанием маятника, движением небесных тел».

Так, теоремой о сохранении механической энергии в поле силы тяжести заканчивает Майер рассмотрение механической формы движения. Следующая форма движения (третья) — тепло.

«Тепло есть сила: оно может быть превращено в движение». Пример локомотива, тянущего в гору поезд, подтверждает это положение. Горючий материал даёт одинаковое количество тепла при равных условиях; «однако уголь, горящий под котлом, даёт *меньшее* количество свободного тепла, когда машина работает, чем когда она бездействует». Для уяснения этого обстоятельства Майер рассматривает процесс нагревания газов при разных условиях. Опыт Гей-Люссака по расширению газа в пустоту доказывает, что расширение газа само по себе (т. е. без преодоления внешнего давления) не требует затраты тепла. «Но равным образом констатируется и тот факт, что газ, расширяющийся под известным давлением, испытывает понижение температуры».

Если обозначить количество тепла, которое поглощает единица объёма воздуха при нагревании от 0 до 274° С (Майер принимает коэффициент объёмного расширения равным $1,274$) при условии неизменного объёма через x , то, предоставив газу возможность расшириться в *пустой* равный по объёму сосуд, мы получим удвоенный объём газа при температуре 274° С.

Если же вести нагревание единицы объёма газа от 0 до 274° С при постоянном давлении, то в конце процесса объём также удвоится, но количество поглощённого тепла будет уже $x + y$. Но в этом втором случае производится механический эффект, равный 15 фунтам на каждый дюйм высоты.

«Если тепло, которое получает газ, нагреваясь при постоянном объёме до t° , равно x , тепло же, необходимое газу для такого же повышения температуры при постоянном давлении, равно $x + y$, и если, далее, вес, поднятый в этом последнем случае, равен P , а высота его подъёма равна h , то тогда

$$y = Ph,$$

Известное уравнение Майера написано в форме:

$$c_p - c_v = R.$$

Опираясь на данные Де ла-Роша и Бера, а также Дюлонга о теплоемкости газов при постоянном давлении и объёме, Майер находит значение для механического эквивалента теплоты равным 367 кГм/ккал.

«Четвёртая форма проявления физической силы есть *электричество*». Рассматривая действие электрофира, Майер делает вывод, что здесь «механический эффект превратился в электричество». На подъём намагнизированной крышки затрачивается работа. То же самое имеет место и при электризации трением и при намагничивании. «Затрата механического эффекта — возникновение (электрического, магнитического) напряжения».

Сила падения обусловлена пространственным расстоянием между падающим телом и землей. При уничтожении этой разности возникает в месте контакта тепло. «Опыт учит нас, что точно такой же эффект, как

и при механическом соединении, а именно образование тепла, достигается также и посредством *химического* соединения определённых веществ. Химически раздельное существование или, короче, *химическая разность веществ есть сила*».

Такова пятая форма силы, рассматриваемая Майером, пятая форма движения. В гальваническом элементе, в вольтовом столбе мы имеем дело с «поразительным рычагом химиков». Общим результатом рассмотрения всех отдельных случаев сил является закон: «При всех химических и физических процессах данная сила остаётся постоянной величиной». Майер составляет таблицу всех рассмотренных сил и описывает 25 случаев перехода движений. В качестве вывода из этой таблицы следует отрицание теллорода и других невесомых материй.

«Защищая *alta voce* (полным голосом) для движения его право на бытие, его субстанциональность, мы безусловно должны отрицать вещественность теплоты и электричества... Выскажем великую истину: «Не существует нематериальных материй». Мы прекрасно сознаём, что мы ведём борьбу с укоренившимися и канонизированными крупнейшими авторитетами и гипотезами, что мы хотим вместе с *невесомыми* жидкостями изгнать из учения о природе всё, что осталось от богов Греции; однако мы знаем также, что природа в её простой истине является более великой и прекрасной, чем любое создание человеческих рук, чем все иллюзии сотворённого духа».

Во второй части Майер переходит к вопросу об основном источнике сил на земле. Таким источником является *Солнце*. «Поток этой силы (т. е. энергии Солнца), преливающейся и на нашу Землю, есть та непрестанно заводящаяся пружина, которая поддерживает в состоянии движения механизм всей происходящей на земле деятельности». Аккумуляторами солнечной энергии на земле являются *растения*. «Мир растений образует резервуар, в котором закрепляются и накапливаются в целях их использования быстро четающие солнечные лучи — источник экономических благ, с которым неразрывно связано физическое существование человеческого рода...» Майер ставит вопрос об исследовании механизма поглощения солнечного света растениями. Это исследование было проведено великим русским учёным К. А. Тимирязевым. От растений Майер переходит к *животным*. Мы не имеем здесь возможности входить в эту часть работы, носящую специальный характер. Важно отметить, что Майер категорически восстаёт против утверждений Либиха и других, что источником механических эффектов является таинственная жизненная сила. Майер даёт другое научное определение источников тепловых и механических эффектов организма: «При поглощении кислорода, при поглощении пищи в организме постоянно происходит химический процесс, результатом которого являются и тепловые и механические эффекты».

Такова эта фундаментальная работа, прослеживающая круговорот всех известных в то время форм энергии на Землю. Но Майер не ограничивается этим. Он хочет рассмотреть вопрос о круговороте энергии во вселивной в общем виде. Он ставит проблему, решение которой наметилось только в наши дни, — об источнике энергии Солнца. Этой проблеме посвящено вышедшее в 1848 г. сочинение Майера «Динамика неба». Он решает вопрос в том смысле, что расход солнечной энергии покрывается энергией потока падающих на солнце метеоритов. Но этот поток должен увеличивать массу Солнца, что в свою очередь должно повлечь уменьшение периодов обращения планет, в частности Земли, на величину от $\frac{7}{8}$ до $\frac{1}{2}$ секунды в год. Астрономические наблюдения этого не подтверждают. Чтобы объяснить это несоответствие, Майер допускает, что излучение связано с потерей массы. Идея поистине замечательная! Кроме того, Майер указывает,

что энергия, затрачиваемая при приливах и отливах, должна вызывать уменьшение скорости вращения Земли.

К тому времени, когда Майер опубликовал свою работу (1848), были сделаны определения механического эквивалента тепла Джоулем, Кольдингом, Гольцманом и появилась работа Гельмгольца «О сохранении силы». Новый принцип завоевывал признание. Но возникли споры о приоритете.

В 1847 г. в журнале Парижской академии «Comptes rendus» («Доклады») появился отчет Джоуля о его исследованиях, в котором он совершенно не упоминает Майера. Майер считал себя вынужденным представить в журнал сообщение о своих работах. Сообщение Майера появилось в том же журнале в 1848 г. Тогда Джоуль прислал критические замечания, напечатанные в XXVIII томе «Докладов». Джоуль указывал, что вычисление механического эквивалента, произведенное Майером, незаконно, ибо независимость теплоемкости газа при постоянном объеме от его объема, на которую опирается Майер в своих расчетах, была доказана только им, Джоулем, в 1843 г., а в 1842 г., когда Майер производил свое вычисление, существовало обратное мнение. Джоуль заключает, что Майер только предсказал существование определенного численного соотношения между теплотой и работой, но доказал наличие такого соотношения впервые только он, Джоуль. В следующем, 29-м томе журнала появилось опровержение Майера, в котором он указывал, что в своих расчетах он опирался на исследования Гей-Люссака, доказавшего в 1807 г. независимость C_v от v , процитировав соответствующее место из своей работы 1845 г. «Я убежден, — говорит Майер, — что Джоуль сделал свои открытия о теплоте и силе, не зная моих, и признаю, что многочисленные заслуги этого известного физика внушают мне большое к нему уважение; но тем не менее я полагаю, что могу с полным правом снова повторить, что закон эквивалентности теплоты и живой силы, с его численным выражением, опубликовал впервые я (в 1842 г.)». На этом полемика в «С. R.» оборвалась, но Майеру пришлось вскоре втянуться в полемику отнюдь не академического характера.

Заметим предварительно, что 1848 г. был, как известно, годом «бури и натиска». Германия жила напряженной политической жизнью. Движение захватило и семью Майера, его брат принимал активное участие в революции, тогда как сам Майер отстал от событий и придерживался реакционных взглядов. Все это, разумеется, не способствовало развитию нормальных отношений в семье, в ближайшем окружении Майера. На него, поглощенного своим открытием, не замечающего волнующих событий современности, родственники начали смотреть, как на маньяка. Мы увидим ниже, как это трагически отразилось на судьбе Майера.

14 мая 1849 г. в профессорской «Аугсбургской всеобщей газете» появилась заметка Майера под заглавием «Важное физическое открытие». В ней описывался способ определения механического эквивалента тепла, сообщалось об открытии Майера. Приват-доцент Тюбингенского университета Зейффер, земляк Майера, поместил в той же газете статью, содержащую грубые и издевательские нападки на Майера.

Эти нападки привняли характер неприкрытой травли, так как газета отказывалась поместить опровержение Майера. Вероятно, домашние приняли сторону газеты. Об атмосфере, создавшейся вокруг ученого, не задолго до этого с достоинством выдержавшего полемику с Джоулем, можно судить по тому, что в мае 1850 г. Майер предпринял попытку покончить самоубийством, выбросившись из окна. Его жизни угрожала серьезная опасность, он пролежал несколько месяцев в больнице и после выздо-

ровления остался на всю жизнь хромым. Всё же он нашёл в себе достаточно силы, чтобы ответить своим врагам отдельной брошюрой «Замечания о механическом эквиваленте тепла», выпущенной в 1851 г. в издании Гейльброннского книготорговца Ландгерра. После общих замечаний о цели и методе естествознания, указав, как на важнейшую цель, установление точных количественных отношений в явлениях природы, Майер переходит к вопросу о природе тепла. Тепло возникает не только при химических процессах, но и в механических (трение, удар, сжатие). «Что же происходит при такого рода образовании теплоты? — Чтобы ответить на этот вопрос, надо измерять и считать».

«Если мы найдём в этом направлении и измерим произведенное механическим путём количество теплоты, а также потраченную на это работу и если мы сравним между собой эти величины, то мы найдем тотчас же, что последние находятся между собой в мыслимо простейшем отношении, именно в неизменном пропорциональном отношении, и что это самое отношение имеет место и тогда, когда мы с помощью теплоты производим обратную работу».

«Резюмируя эти факты в немногих ясных словах, мы скажем: *Теплота и движение превращаются друг в друга*» Затем Майер указывает, что опыты приводят к выводу: для нагревания единицы воды на 1°C требуется работа, равная подъёму этой единицы на 1200 футов высоты. «Это число и есть механический эквивалент тепла».

Покончив таким образом с изложением существа открытия, кстати сказать изложение ведётся в духе эмпирико-индуктивизма его противников, Майер переходит к защите своего приоритета. Он ссылается вновь на свои наблюдения на Яве, указывает, что именно ему принадлежит научная основа теории горения в организме, заключающаяся в том, что «порождённая живым теплом механическая теплота должна находиться в неизменном количественном отношении к затраченной на это работе». Цитируя свою статью 1842 г., Майер указывает, что им введено новое понятие «силы».

«Сила есть нечто, что затрачивается при произведении движения, и что затраченное нечто, как причина действия, равно произведенному действию».

Разобрав понятие силы, Майер останавливается на вопросе, почему он не сделал вывода, что «тепловые явления можно рассматривать просто как явления движения». Прочитывая приведенное нами выше, вместе с замечаниями Тэта, место из своей статьи, Майер указывает, что связь между теплотой и движением даёт основание утверждать, что теплота, электричество и магнетизм не являются особыми жидкостями, но не более.

«Движение есть скрытая теплота, а теплота есть скрытое движение». Для понимания истинной природы тепла у нас нет ещё данных. Атом — дифференциал и не может сам по себе стать предметом исследования.

Заканчивает Майер указанием на эвристическую ценность нового принципа, позволяющего приступать к решению проблем, казавшихся недоступными. В частности таков вопрос о тепловом эффекте столкнувшихся космических тел.

«Нужно думать, что это защитительное сочинение было написано кровью Майера, исчерпав последние его силы», — пишет Оствальд. Действительно, осенью 1851 г. Майер заболел воспалением мозга, после которого его поместили сначала в частный сумасшедший дом, а затем в казённую психиатрическую больницу с ужасным режимом; научную деятельность он возобновил в 1862 г. умер Майер в 1878 г.

Гельмгольд

Одновременно с Майером и, независимо от него, закон сохранения и превращения энергии разрабатывался Джоулем и Гельмгольцем.

Герман Гельмгольд родился 31 августа 1821 г. в Потсдаме, в семье преподавателя Потсдамской гимназии. После окончания Потсдамской гимназии он поступил в 1838 г. в Медико-хирургический институт Фридриха-Вильгельма в Берлине. Здесь он заинтересовался физиологией, которую преподавал известный физиолог Иоганн Мюллер, близко сошёлся с молодыми физиологами Брюкке и Дю-Буа Реймондом и особенно глубоко заинтересовался вопросом о сущности жизненной силы. Сам И. Мюллер, хотя и переходил в физиологии на экспериментальную почву, не был свободен от виталистических предубеждений и принимал, что в организме, кроме физических и химических сил, действует жизненная сила, тормозящая действие этих сил и прекращающая своё действие после смерти, что приводит к гниению и тлению.

В это время Гельмгольд вступил в члены Физического общества, образовавшегося в 1845 г. из коллоквиума, руководимого учителем Гельмгольца, известным физиком Густавом Магнусом (1802—1870). В числе основателей общества были друзья Гельмгольца физиологи Дю-Буа, Брюкке. Гельмгольд сделался одним из активных членов общества и принимал самое деятельное участие в реферативном журнале общества «Успехи физики», где он в течение более девяти лет помещал рефераты по отдельным вопросам физиологии и физики.

В конце подготовительного этапа к своему труду «О сохранении силы» Гельмгольд занялся исследованием по энергетике живых организмов. В 1845 г. он опубликовал работу «О потреблении вещества при мускульных действиях». В следующем году в Энциклопедическом медицинском словаре появилась его статья «Тепло физиологическое», а в 1847 г. в «Успехах физики» появился его «Обзор работ за 1845 г., относящихся к теории явлений физиологической теплоты».

«Большинство физиологов, — вспоминает он, — признавали тогда взгляды Ж. Е. Штала, что в живом организме действуют, правда, физические и химические силы органических веществ, но что в то же время в нем живёт душа жизни, или жизненная сила, которая регулирует проявления физических и химических сил, и что свободное, ничем не регулируемое проявление последних после смерти вызывает гниение...

В этом объяснении я подозревал нечто противоестественное, но мне стоило большого труда вылить это подозрение в форму точного вопроса. Наконец, в последний год моего студенчества я нашёл, что по теории Штала каждый живущий организм представляет *perpetuum mobile*».



Герман Гельмгольд.

Гельмгольцу были известны работы математиков XVIII в. на тему о возможности *perpetuum mobile*, и он смог сформулировать проблему: «Какие соотношения должны существовать между различными силами природы, если никакое вообще *perpetuum mobile* невозможно? Существуют ли на самом деле все эти соотношения?»

В середине февраля 1847 г. он послал своему другу Дю-Буа введение к работе «О сохранении силы», которое Дю-Буа оценил как «исторический документ величайшей научной концепции из всех времён». В этом введении Гельмгольц, так же как и Майер, начинает с вопроса о теоретической цели естествознания и усматривает её в открытии «последних неизменных причин явлений природы». Рассматривая материальный мир в духе Босковича — Канта разложенным на точки, взаимодействующие друг с другом по линии, их соединяющей, причём величина взаимодействия зависит от расстояния, Гельмгольц конкретизирует цель теоретических наук о природе так: «Таким образом, окончательно задача физических наук о природе заключается в том, чтобы явления природы свести к неизменным притягательным и отталкивательным силам, величина которых зависит от расстояния».

23 июля 1847 г. Гельмгольц сделал в физическом обществе доклад «О сохранении силы». Приняв в качестве постулата центральные силы как последнюю неизменную причину, Гельмгольц доказывает консервативный характер этих сил.

«Во всех случаях движения материальных точек под влиянием их притягательных и отталкивательных сил, интенсивность которых зависит только от расстояния, потеря в количестве силы напряжения всегда равна приращению живой силы, а приращение первой — потере второй. Следовательно, сумма всех сил и сил напряжения является всегда величиной постоянной»

Сила напряжения на современном языке — потенциальная энергия. Если величина силы в какой-либо точке пути равна φ , то сила напряжения при перемещении точки воздействия от некоторой точки r до точки R , где r и R — расстояния начальной и конечной точек, от неподвижного начала равна $\int_r^R \varphi dr$. Живая сила у Гельмгольца измеряется $1/2 mv^2$ (у Майера, Лейбница просто mv^2). Таким образом, математическая формулировка принципа принимает вид

$$-\sum_{r_{ab}}^{R_{ab}} \left[\int \varphi_{ab} dr_{ab} \right] = \sum \left[\frac{1}{2} m_a v_a^2 \right]_2 - \sum \left[\frac{1}{2} m_a v_a^2 \right]_1.$$

Что для центральных сил справедлив закон сохранения энергии, это знал ещё Ньютон (см. VIII гл.). Но Гельмгольц связал консервативность этих сил с невозможностью *perpetuum mobile*.

«Представим себе систему точек, взаимодействия которых определяются их конфигурацией (взаимным расположением и массами). Если мы переведём эту систему из данного начального расположения в другое, то затратим работу, которая будет определяться только конечной и начальной конфигурацией и не будет зависеть от способа перехода. Если бы было справедливо обратное, то, вернувшись в исходное положение, мы получили выигрыш или потерю работы без изменения в окружающей обстановке, что и означало бы возможность *perpetuum mobile*».

Гельмгольд резюмирует свои результаты так: 1) «Всякий раз, когда тела природы действуют друг на друга под влиянием притягательных или отталкивательных сил, не зависящих ни от времени, ни от скорости, сумма сил напряжения и живых сил в системе должна оставаться постоянной, и, следовательно, *максимум работы, которая может быть получена, является величиной определённой, конечной*».

2) «Если между телами действуют силы, зависящие от скоростей и времени или действующие по направлению, не совпадающим с прямыми, соединяющими попарно деятельные материальные точки, например силы вращательные, то возможны такие сочетания этих тел, при которых *сила либо теряется, либо выигрывается до бесконечности*».

3) «... Если бы... существовали другие силы, кроме центральных, то можно было бы создавать такие прочные соединения тел природы, *которые двигались бы сами собою, не нуждаясь в какой-либо связи с другими телами*».

Совершенно справедливо, что если силы, действующие в системе, центральные, то система не даёт возможности получить неограниченное количество работы. Но обратное предположение, что из невозможности *perpetuum mobile* с необходимостью вытекает центральный характер сил, не верно. Принцип невозможности *perpetuum mobile* является очень широким и суживать его область применения центральными силами, как это сделал Гельмгольд, было бы нецелесообразно. Это впоследствии признал и сам Гельмгольд, сделав соответствующие примечания и дополнения к своей работе.

Уже в качестве военного врача в Потсдаме Гельмгольд начал работать над принципом сохранения энергии. Гельмгольд описывает как была принята его работа.

«К моему удивлению, авторитеты по физике, с которыми я вступил в сношение, отнеслись к делу совершенно иначе. Они склонны были отрицать самый закон и в усердной борьбе против гегелевской натурфилософии, которую они тогда вели, объявить и мою работу фантастической спекуляцией. Только математик Я к о б и признал связь между моими мыслями и рассуждениями математиков прошлого столетия, заинтересовался моей попыткой и защищал её от превратного толкования... О работе Джоуля на ту же тему я тогда знал очень мало, о работах же Майера не знал ничего». Гельмгольд тут же после доклада послал свою рукопись Магнусу, чтобы он направил её Поггендорфу для опубликования в «Анналах». Магнусу работа Гельмгольца также не понравилась, так как он был противником смешения экспериментальной и теоретической физики, которые он считал совершенно отдельными областями наук. Он ограничился только пересылкой статьи с несколькими общими рекомендательными словами. Поггендорф ответил Магнусу 1 августа 1847 г. письмом, в котором, признавая важность предмета, отклонил работу: «Анналы» должны прежде всего публиковать экспериментальные исследования, и ты знаешь сам достаточно хорошо, как велика их масса на сегодняшний день». Поггендорф советовал автору издать труд самостоятельно и обещал издать ту или иную часть работы, если он пожелает оправдать свои спекуляции экспериментально. Работа Гельмгольца вышла отдельной брошюрой в издании Реймера в Берлине.

Механический подход Гельмгольца, который он сам был вынужден признать узким, дал возможность установить абсолютную меру для «живой силы» и рассматривать всевозможные формы энергии либо в виде кинетической («живых сил»), либо потенциальной («сил напряжения»).

Далее Гельмгольд рассматривает частные случаи. Механика, поскольку отсутствуют силы трения, даёт первый пример приложимости принципа.

Сюда относится закон тяготения, движения несжимаемых жидкостей и газов, идеально упругих. Сюда же можно отнести акустику и оптику, если отсутствует абсорбция.

Если при наличии трения или абсорбции имеет место потеря живых сил, то это должно повлечь за собой соответствующую компенсацию в виде появления других форм сил, по преимуществу теплоты. Гельмгольц доказывает несостоятельность флюидной теории тепла и приходит к выводу, что «количество теплоты, содержащейся в теле, может быть рассматриваемо как сумма живой силы теплового движения (свободная теплота) и количества той силы напряжения в атомах, которая при изменении их расположения может вызвать тепловое движение (скрытая теплота, внутренняя работа)».

Касаясь возникновения тепла при химических реакциях, Гельмгольц указывает, что закон Гесса является частным случаем принципа (независимость изменения энергии от формы пути).

Особенно подробно Гельмгольц разбирает электрические и магнитные явления. Ссылаясь на Гаусса и введенную им потенциальную функцию, Гельмгольц выводит выражение энергии в случае электростатических и магнитостатических взаимодействий. Электростатическая энергия составляется из энергии взаимодействия и из собственной энергии тел, она равна

$$U = \frac{1}{2}(w_1 + w_2).$$

Гельмгольц находит выражение энергии конденсатора

$$\theta = \frac{1}{2} Q (c_1 - c_2)$$

и отсюда количество тепла, выделяющегося в соединительной проволоке при его разряде.

Рассматривая гальваническое электричество, Гельмгольц указывает, что контактная разность потенциалов не должна зависеть от формы и величины соприкасающихся поверхностей, а только от их природы. Отсюда закон Вольта.

Гальванические элементы Гельмгольц делит на три типа: элементы без поляризации (Даниэля, Грове), элементы с поляризацией, но без химического разложения и элементы при наличии тех и других процессов. В элементах без поляризации имеет место окисление (сгорание) металлов — электродов и растворение окиси в кислоте. Равенство теплоты, выделяемой при химических реакциях, и теплоты, выделяемой током в цепи, и даёт возможность определить электродвижущую силу.

Отсюда вытекает, что все цепи, в которых происходят одинаковые химические процессы, обладают одинаковой электродвижущей силой. В цепях с поляризацией имеют место непостоянные поляризационные токи, исчезающие, когда будет достигнуто равновесие между внешними поляризующими силами и внутренними силами поляризации. Если электроды одинаковы (например, платиновые), то по выключении внешних поляризующих сил, при замыкании полюсов возникает вторичный ток деполяризации.

В цепях с поляризацией и химическим разложением имеет место и ток поляризации, и ток разложения. В термоэлектрических цепях теплота, возникающая в проводниках, должна равняться полному количеству тепла, поглощаемому в местах спая.

Особенную известность получил вывод Гельмгольда электродвижущей силы индукции. Представим себе, что индукция вызывается движением

магнита относительно контура тока. Для взаимодействия магнитов имеет место гауссовская потенциальная функция, и если ток, по Амперу, рассматривать как магнитный листок, то потенциальная энергия тока и магнита может быть выражена функцией JV , где V — потенциал магнита относительно проводника, обтекаемого током, равным единице. При бесконечно малом перемещении магнита в течение промежутка времени dt силы напряжения, действующие в цепи тока, расходуют энергию $aIAdt$, где a — механический эквивалент тепла, A — теплота, развиваемая силами, действующими в цепи при прохождении единицы электричества. Эта работа тратится на работу перемещения магнита, равную $I \frac{dN}{dt} dt$, и на джоулево тепло в проводниках aI^2Wdt , где W — сопротивление цепи.

Таким образом,

$$aIAdt = aI^2Wdt + I \frac{dN}{dt} dt,$$

откуда

$$I = \frac{A - \frac{1}{a} \frac{dN}{dt}}{W}.$$

Это и даёт выражение величины э. д. с. индукции

$$E = - \frac{1}{a} \frac{dN}{dt},$$

которое совпадает с точностью до множителя с выражением, выведенным Нейманом на основе исследований Ленца.

Гельмгольц заканчивает своё исследование следующими словами:

«Изложенным выше, полагаю, мне удалось доказать, что рассматриваемый закон не противоречит ни одному известному явлению в области естествознания, а многими из них он весьма наглядно подтверждается. Я постарался возможно полное изложить те последствия, которые вытекают из сочетания этого закона с известными до сих пор законами естественных явлений и которые требуют ещё экспериментального подтверждения. Целью настоящего исследования, из-за которого, надеюсь, мне простят его гипотетические части, являлось желание доказать физикам с возможной полнотой теоретическую, практическую и эвристическую важность этого закона, полное подтверждение которого представляет собой, пожалуй одну из основных задач ближайшего будущего физики».

Намеченная Гельмгольцем программа действительно составила основное содержание последующего развития физики. Разносторонняя научная деятельность самого Гельмгольца представляла в значительной степени реализацию этой программы. Он смело внедрял физические методы в физиологию. Гельмгольц был первым человеком, увидевшим сетчатку живого человеческого глаза с помощью изобретённого им глазного зеркала (1850); им была измерена скорость распространения нервного возбуждения (в том же 1850 г.). Его обширные исследования по физиологии зрения (теория аккомодации, цветного зрения и т. д.) были обобщены в классическом труде «Руководство физиологической оптики», первая часть которого вышла в 1856 г., вторая в 1860 г., третья в 1867 г. В 1885 г. начало выходить второе издание этого труда, состоящее уже из девяти частей, последняя из которых вышла в свет после смерти автора в 1895 г. В 1856 г. исследованием комбинационных тонов начались его акустические работы, завершившиеся в 1863 г. выходом фундаментального труда «Учение о слуховых ощущениях как физиологическая основа теории музыки». О его исследованиях по теоретической физике мы будем иметь возможность говорить во втором томе

этой книги. Но влияние Гельмгольца в истории физики не исчерпывается его личными трудами, как бы велико ни было их значение. Он оказал мощное неоспоримое влияние на умы современных ему физиков, создал интернациональную школу физиков и физиологов. Отмечая эту сторону деятельности Гельмгольца, А. Г. Столетов говорил: «Гельмгольц дорог нам не только как гениальный учёный, — он в то же время самый заслуженный из современных насадителей науки вообще и в частности в нашем отечестве».

Многие десятки натуралистов и врачей, получившие известность своей общественной деятельностью и учёными трудами, обязаны своим специальным образованием Гельмгольцу. Значение его в качестве международного учителя, думаю, не для одной страны (кроме родной ему Германии) не было так велико, как для России».

Великий естествоиспытатель умер 8 сентября 1894 г.

При всём различии подходов, методов и принципиальных установок все исследователи сходились в одном пункте — необходимости установления количественного отношения между различными формами сил и, в первую очередь, между теплотой и механическим движением. Здесь предстояло вновь вернуться к старому вопросу: что же считать мерой механического движения, и здесь практика решила вопрос вполне определённо: «мера движения — работа». Со всей чёткостью итог дискуссии о мерах движения подвёл Энгельс в своей известной статье «Мера движения. — Работа».

«Если имеющееся уже налицо механическое движение переносится таким образом, что оно сохраняется в качестве механического движения, то оно передаётся согласно формуле о произведении массы на скорость. Если же оно передаётся таким образом, что оно исчезает в качестве механического движения, воскресая снова в форме потенциальной энергии, теплоты, электричества и т. д., если, одним словом, оно превращается в какую-нибудь другую форму движения, то количество этой новой формы движения пропорционально произведению первоначально двигавшейся массы на квадрат скорости. Одним словом: mv — это механическое движение, измеряемое механическим же движением; $\frac{mv^2}{2}$ — это механическое движение, измеряемое его способностью превращаться в определённое количество другой формы движения»¹.

Работа из вспомогательного понятия в механике и теорема живых сил из первого интеграла её уравнений превратились в важнейшие понятия и принципы естествознания. «Работа — это изменение формы движения, рассматриваемое с его количественной стороны»².

Количество превращённой формы движения можно измерить величиной той механической работы, например, по поднятию груза, которую можно было бы получить, если целиком всё исчезнувшее движение затратить на это поднятие. Экспериментальное обоснование принципа и заключается прежде всего в доказательстве количественной определённости этой работы. Этой задаче и были посвящены классические опыты Джоуля.

Джемс Прескотт Джоуль — манчестерский пивовар (родился 24 декабря 1818 г., умер в 1889 г.) — начал с изобретения электромагнитных аппаратов. Эти приборы и явления, с ними связанные, были конкретным ярким случаем превратимости физических сил. В первую

¹ Энгельс, Дialectика природы, изд. 1948, стр. 71.

² Там же, стр. 72.

очередь Джоуль исследовал законы выделения тепла электрическим током. Так как опыты с гальваническими источниками (1841) не давали возможности установить, является ли теплота, развиваемая током в проводнике, только перенесённой теплотой химических реакций в батарее, то Джоуль решил поставить эксперимент с индукционным током.

Он поместил в замкнутый сосуд с водой катушку с железным сердечником, концы обмотки катушки присоединялись к чувствительному гальванометру. Катушка приводилась во вращение между полюсами сильного электромагнита, по обмотке которого пропускался ток от батареи. Число оборотов катушки достигало 600 в минуту, при этом попеременно четверть часа обмотка электромагнита была замкнута, четверть разомкнута. Тепло, которое выделялось (вследствие трения), во втором случае вычиталось из тепла, выделяемого в первом случае. Джоуль установил, что количество тепла, выделяемое индукционными токами, пропорционально квадрату силы тока. Так как в данном случае токи возникали вследствие механического движения, то Джоуль пришел к выводу, что тепло можно создавать с помощью [механических сил. Далее Джоуль, заменив вращение рукой вращением, производимым падающим грузом, установил, что «количество теплоты, которое в состоянии



Джеймс Джоуль.

нагреть 1 фунт воды на 1° , равно и может быть превращено в механическую силу, которая в состоянии поднять 838 футов на вертикальную высоту в 1 фут». Эти результаты и были им сведены в работе «О тепловом эффекте магнитоэлектричества и механическом значении тепла», доложенной на физико-математической секции Британской ассоциации 21 августа 1843 г.

В следующих своих работах Джоуль исследовал термические явления при сжатии и расширении газов. В работе, опубликованной в 1845 г. «Об изменениях температуры, вызванных разрежением и сжатием воздуха», описаны следующие опыты.

В калориметр помещён нагнетательный насос вместе с резервуаром. Воздух, проходя через высушивающий прибор и принимающий в змеевике определённую температуру, нагнетался в резервуар до давления в 22 атмосферы. Ввиду незначительности повышения температуры в калори-

мestre процесс сжатия можно рассматривать, как изотермический, и работу, затраченную на сжатие, рассчитывать по формуле

$$A = p_2 v_2 \ln \frac{p_2}{p_1},$$

где $p_2 = 22 \text{ атм.} = 22 \cdot 1034 \text{ кг/м}^2$, $p_1 = 1 \text{ атм.}$, v_2 — объём резервуара, равный в опыте Джоуля $0,002232 \text{ м}^3$. Эквивалентное количество тепла находится по повышению температуры (которое составляло доли градуса Фаренгейта) и данным калориметра. Опыт дал для механического эквивалента значение $779 \frac{\text{фунтофут}}{\text{англ. калор.}}$,

что составляет около $436 \frac{\text{кгм}}{\text{б. кал.}}$.

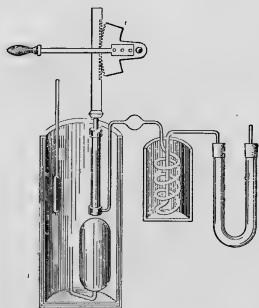


Рис. 225. Опыт Джоуля.

то воздух расширился в пустоту, непроизводя работы. Температура в калориметре не изменялась. Когда же сосуды были помещены каждый в отдельный калориметр (рис. 227), то в одном произошло охлаждение

Другой опыт представил повторение опыта Гей-Люссака и, как мы уже знаем, послужил поводом обвинить Майера в неправомерности его расчётов. Два металлических сосуда, соединённые трубками с кранами, помещались в общий калориметр (рис. 226). В одном сосуде воздух сжат до 22 атмосфер, из другого откачивался до возможного предельного разрежения. Когда краны открывались,

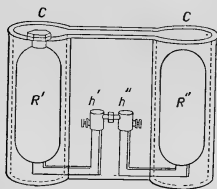


Рис. 226.

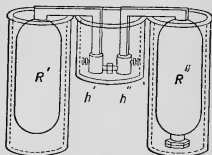


Рис. 227.

на $2^{\circ},36$, а в другом нагревание на $2^{\circ},38$, т. е. такое же. Наконец, Джоуль измерил охлаждение, получающееся при расширении сжатого воздуха в атмосферу. Воздух, сжатый в резервуаре R (рис. 228), помещённом в калориметре, проходил по змеевику в сосуд P , опрокинутый в воду, и, вытесняя из него воду, производил работу расширения. Среднее значение эквивалента оказалось равным 798 футофунтов ($438 \frac{\text{кгм}}{\text{б. кал.}}$).

Наконец, в работе 1847 г. и особенно в работе 1850 г. Джоуль, разрабатывая свой главный метод, вошедший в учебники физики, даёт наиболее совершенное определение механического эквивалента тепла. Металличе-

ский калориметр (в первых опытах медный, в последующих — чугунный, рис. 229) устанавливался на деревянной скамейке. Внутри калориметра проходит ось, несущая лопасти или крылья. Крылья эти расположены в вертикальных плоскостях, образующих угол 45° друг с другом (восемь рядов). К боковым стенкам в радиальном направлении прикреплены четыре ряда пластинок, не препятствующие вращению лопастей, но препятствующие движению всей массы воды. В целях тепловой изоляции металлическая ось разделена на две части деревянным цилиндром. На внешнем

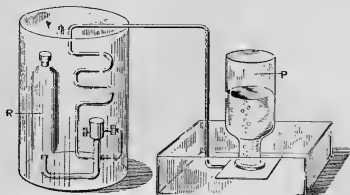


Рис. 228. Опыт Джоуля.

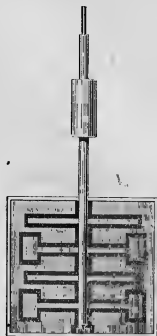


Рис. 229. Разрез калориметра Джоуля.

конце оси имеется деревянный цилиндр, на который наматываются две верёвки в одинаковом направлении, покидающие поверхность цилиндра в противоположных точках (рис. 230). Концы верёвок прикреплены к не-

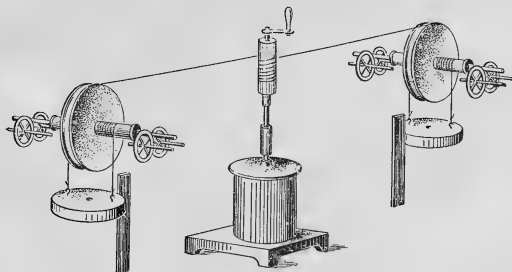


Рис. 230. Опыт Джоуля.

подвижным блокам, оси которых лежат на лёгких колёсиках. На оси намотаны верёвки, несущие грузы. Высота падения грузов отсчитывается по рейкам.

Из опытов с водой Джеймс Джоуль нашёл значение эквивалента $773,64 \frac{\text{фунтфут}}{\text{англ. калор.}}$ или $424,3 \frac{\text{кГм}}{\text{б. кал.}}$. Наливая в чугунный калориметр ртуть,

он нашёл значение 776,303 (425,77). Далее Джоуль определял эквивалент, измеряя теплоту, выделяемую при трении чугуна о чугун (рис. 231). На оси в калориметре вращалась чугунная пластинка. Вдоль оси

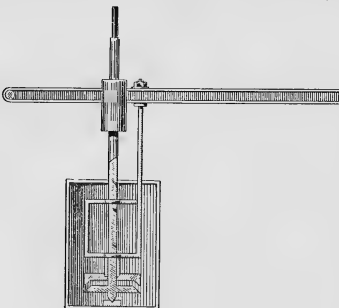


Рис. 231. Деталь опыта Джоуля.

свободно скользят кольца, несущие рамку, трубку и диск, по форме пригнанный к чугунной пластинке. С помощью стержня и рычага можно произвести давление и прижать диск к пластинке. Эти опыты дали значение 774,880 (425,00). Последние измерения механического эквивалента Джоуль производил уже в 1878 г.

Кроме Кольдинга и Джоуля, определение механического эквивалента производили Сеген, Гирн, Гольцман и другие. Эльзасский фабрикант-текстильщик Гирн определил в 1853 г. механический эквивалент методом удара. Плита из песчаника

весом в 941 кг (рис. 232) подвешивалась на двойной деревянной раме. Плита была снабжена на одном конце железной плиткой. На той же раме подвешен был железный цилиндр весом 350 кг. Между

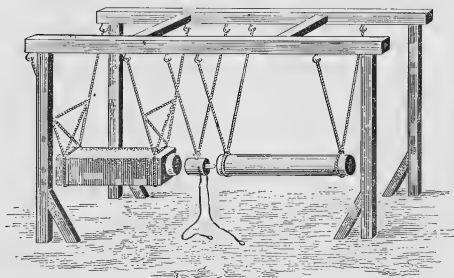


Рис. 232. Опыт Гирна.

ними помещался свинцовый цилиндр, внутри которого был выдолблен канал. Вначале в канал цилиндра помещался термометр, с помощью которого определялась температура свинцового цилиндра. Затем отводили железный цилиндр в сторону, поднимая его центр тяжести на высоту h . Цилиндр ударялся о свинец, отскакивал обратно на некоторую высоту h' , а плита поднималась на h'' . Совершенная работа

$$A = P(h - h') - ph''$$

($p = 350$, $P = 941$ кг). Сейчас же после удара в полость свинцового цилиндра наливалась вода, температура которой определялась термометром. Измерения Гирна дали значение $425,2 \frac{\text{кГм}}{\text{б. кал}}$.

Возникновение
термодинамики.
Второе начало.

Все эти эксперименты и вычисления, производившиеся на основе уточнённых экспериментальных определений тепловых констант (особенно измерений Ренъо), не только содействовали успеху нового принципа — они способствовали укреплению механического воззрения в физике и в первую очередь возникновению механической теории тепла, возникновению учения о тепле как движущей силе — *термодинамики*. Термодинамика явилась теоретической базой теплотехники, но вместе с тем и очень важной, в силу своего общего характера, отраслью теоретической физики. Не случайно, что успехи нового принципа определили возрождение кинетических воззрений на теплоту (Джоуль, Крениг, Ранкин, Клаузиус, Максвелл), но они же привели к выявлению специфических особенностей этой формы энергии, которые, казалось, противоречили самой механике.

Уже Карно указал на эту специфическую особенность теплоты. Теплота создаёт механическую работу только при тепловом «перепаде», т. е. наличии разности температур. Этой разностью температур определяется коэффициент полезного действия тепловых машин. Клапейрон в 1834 г. развил мысли Карно и ввёл очень ценный в термодинамических исследованиях графический метод. Майер в своих первых работах указал на общую тенденцию сил природы действовать в направлении выравнивания «разностей», но он же высказал глубокое убеждение, что количественная неизменность сил природы обеспечивает нам продолжение существования разностей, а значит и материального мира.

Вместе с тем Майер также обращал внимание на низкий коэффициент полезного действия тепловых машин: «максимум полезного эффекта составляет 5—6% общей затраты тепла», «а многие аппараты, и в особенности локомотивы, не дают полного процента полезного действия».

В 1850 г. в «Анналах» Поттендорфа вышла первая работа Рудольфа Клаузиуса (1822—1888) «О движущей силе теплоты», в которой вновь после Карно и Клапейрона был поставлен вопрос об условиях превращения тепла в работу. Принцип сохранения энергии, требуя только количественного равенства, никаких условий для качественного превращения энергий не налагает. В этой работе Клаузиус разбирает теорию Карно с новой точки зрения, с точки зрения механической теории тепла.

Работа Карно была незадолго перед этим воскрешена из праха забвения В. Томсоном («Доклад о теории Карно», «Edinburgh. Trans.», XVI, 1849 г.). Томсон признаёт, что взгляд Карно, что теплота в машинах только перераспределяется, но не потребляется, неверен. Но одновременно он указывает, что если отказаться от выводов Карно касательно условий превращения тепла в работу, то встречаются непреодолимые трудности. Томсон делает вывод, что теория тепла требует серьёзной перестройки и дополнительного экспериментального исследования. В своей работе Клаузиус полагает, что наряду с первым началом, гласящим, «что во всех случаях, когда теплота производит работу, потребляется количество тепла, пропорциональное полученной работе», следует сохранить в качестве второго начала положение Карно, что работа производится при переходе тепла от более нагретого тела к холодному. Это положение, по мнению

Клаузиуса, согласуется с природой тепла, в которой всегда наблюдается переход тепла «сам собою» от горячего тела к холодному, а не наоборот.

В качестве второго начала Клаузиус и выдвигает постулат: «Теплота не может «сама собою» перейти от более холодного тела к более тёпшему».

Слова «сама собою» не должны означать, что теплоту вообще нельзя перевести от холодного тела к нагретому (иначе не были бы возможны холодильные машины). Они означают, что не может быть таких процессов, *единственным результатом* которых были бы упомянутый переход, без соответствующих других «компенсационных» изменений.

Вслед за этой работой (почти одновременно) в «Эдинбургских трудах» появились три доклада В. Томсона: от 17 марта 1851 г., 21 апреля 1851 г., 15 декабря 1851 г. «О динамической теории тепла».

Рассмотрев вопрос о превращении различных форм энергии с количественной стороны, Томсон указывает, что при одинаковой количественной



Вильям Томсон.

величине не все виды энергии способны к превращению в одинаковой степени. Например, существуют условия, при которых превращение тепла в работу невозможно. Постулат Томсона гласит: «При посредстве неодушевлённого тела невозможно получить механического действия от какой-либо массы вещества путём охлаждения её температуры ниже температуры самого холодного из окружающих тел».

Развивая следствия из этого положения, Томсон в работе 1857 г. «О всеобщей тенденции в природе к рассеянию механической энергии» приходит к известному выводу о господствующей в природе тенденции к переходу энергии в теплоту и к выравниванию температур, что приводит в конечном счёте к снижению работоспособности всех тел до нуля, к тепловой смерти.

В 1851 г. инженер Р а н к и н (1820—1872) также обосновывает второе начало в применении к тепловым машинам. Эквивалентность формулировок Карно, Клаузиуса и В. Томсона может быть без труда доказана.

В 1854 г. Клаузиус в статье «Об изменённой форме второго начала механической теории тепла» доказывает теорему Карно, исходя из своего

постулата, и, обобщая её, даёт математическое выражение второго начала в виде неравенства для круговых процессов:

$$\int \frac{dQ}{T} \leq 0,$$

где знак $=$ имеет место для обратимых процессов, $<$ для необратимых.

В последующих работах (1859, 1864, 1865) Клаузиус вводит функцию состояния «энтропию» и даёт математическую формулировку тенденции, усмотренной Томсоном, в виде положения «Энтропия вселенной стремится к максимуму». Так в физике наряду с «царицей мира» (энергией) появилась её «тень» (энтропия). Сам Клаузиус в конце своей работы 1865 г. пишет: «Второе начало в том виде, какой я ему придал, гласит, что все совершающиеся в природе превращения в определённом направлении, которое я принял в качестве положительного, могут происходить сами собою, т. е. без компенсации, но в обратном, т. е. в отрицательном, направлении они могут происходить только при условии, если они компенсируются происходящими одновременно с ними положительными превращениями».

Применение этого начала ко всей вселенной приводит к заключению, на которое впервые указал В. Томсон. В самом деле, если при всех происходящих во вселенной изменениях состояния превращения в одном определённом направлении постоянно преобладают по своей величине над превращениями в противоположном направлении, то *«общее состояние вселенной должно всё больше и больше изменяться в первом направлении, и, таким образом, оно должно непрерывно приближаться к предельному состоянию»*.

В качестве примера, иллюстрирующего положение Клаузиуса, рассмотрим изолированную систему, содержащую два тела при разных температурах T_1 и T_2 . Пусть $T_1 > T_2$. Вследствие теплообмена первое тело потеряет количество тепла ΔQ , второе получит такое же количество.

Вследствие этого энтропия, дифференциал которой $dS = \frac{dQ}{T}$ изменится на величину

$$dS = -\frac{\Delta Q}{T_1} + \frac{\Delta Q}{T_2} > 0,$$

т. е. в результате такого «естественного» перехода энтропия возрастает.

Но широкая общность и категоричность положения Клаузиуса вызвали возражения. Гирн, Ранкин, Тэт, Престон и другие приводили примеры процессов, которые, казалось, противоречили принципу Клаузиуса. Однако Клаузиус и другие авторы показывали ошибочность возражений, и найти процессы, противоречащие второму началу, не удавалось. Тем не менее осторожные исследователи справедливо указывали, что распространение принципа на всю вселенную на основе краткого, по сравнению со временем развития космических процессов, земного опыта слишком рискованно. Кроме того, физики справедливо усматривали, что категорическая применимость второго начала означала по существу уничтожение первого начала, так как энергия, не способная к превращениям, не является энергией (курсив редакции). Утверждающие это физики, так же как и раньше Майер, вплотную подходили к воззрениям, развитым по этому поводу Энгельсом. В «Старом введении к диалектике природы» мы читаем:

«Современное естествознание вынуждено было заимствовать у философии положение о неунитожимости движения; без этого положения естествознание теперь не может уже существовать. Но движение материи —

это не одно только грубое механическое движение, не одно только перемещение; это — теплота и свет, электрическое и магнитное напряжение, химическое соединение и разложение, жизнь и, наконец, сознание. Говорить, будто материя за время своего бесконечного существования имела один только единственный раз — и то на одно мгновение по сравнению с вечностью её существования — возможность дифференцировать своё движение и, таким образом, развернуть всё богатство этого движения и что до этого и после этого она навеки ограничена одним простым перемещением, — говорить это значит утверждать, что материя смертна и движение преходяще. *Неуничтожимость движения надо понимать не только в количественном, но и в качественном смысле*¹ (курсив наш. — П. К.). Далее:

«Это предположение отрицает неуничтожимость движения; оно допускает возможность того, что путём последовательного падения небесных тел друг на друга всё существующее механическое движение превратится в теплоту, которая будет излучена в мировое пространство, благодаря чему, несмотря на всю «неуничтожимость силы», прекратилось бы вообще всякое движение. (Между прочим здесь обнаруживается, как неудачно выражение: неуничтожимость силы, вместо выражения: неуничтожимость движения). Мы приходим, таким образом, к выводу, что излученная в мировое пространство теплота должна иметь возможность каким-то путём, — путём, установление которого будет когда-то в будущем задачей естествознания, — превратиться в другую форму движения, в которой она может снова сосредоточиться и начать активно функционировать. Тем самым отпадает главная трудность, стоявшая на пути к признанию обратного превращения отживших солнц в раскалённую туманность.

К тому же, вечно повторяющаяся последовательная смена миров в бесконечном времени является только логическим дополнением к одновременному сосуществованию бесчисленных миров в бесконечном пространстве: положение, принудительную необходимость которого вынужден был признать даже антисофистический мозг янки Дрэпера².

Вот вечный круговорот, в котором движется материя, — круговорот, который завершает свою траекторию лишь в такие промежутки времени, для которых наш земной год не может служить достаточной единицей измерения; круговорот, в котором время наивысшего развития, время органической жизни и, ещё более, время жизни существ, сознающих себя и природу, отмерено столь же скудно, как и то пространство, в пределах которого существует жизнь и самосознание; круговорот, в котором каждая конечная форма существования материи — безразлично, солнце или туманность, отдельное животное или животный вид, химическое соединение или разложение — одинаково преходяща и в котором ничто не вечно, кроме вечно изменяющейся, вечно движущейся материи и законов её движения и изменения. Но как бы часто и как бы безжалостно ни совершался во времени и в пространстве этот круговорот; сколько бы миллионов солнц и земель ни возникало и ни погибало; как бы долго ни длилось время, пока в какой-нибудь солнечной системе и только на одной планете не создались условия для органической жизни; сколько бы бесчисленных органических существ ни должно было раньше возникнуть и погибнуть, прежде чем из их среды разовьются животные со способным к мышлению мозгом,

¹ Энгельс, Диалектика природы, Госполитиздат, 1948, стр. 18.

² «Множественность миров в бесконечном пространстве приводит к представлению о последовательной смене миров в бесконечном времени» (Дрэпер, «История умственного развития Европы», т. II, стр. 16). (Примечание Энгельса. Там же стр. 20).

находя на короткий срок пригодные для своей жизни условия, чтобы затем быть тоже истреблённым без милосердия, — у нас есть уверенность, что материя во всех своих превращениях остаётся вечно одной и той же, что ни один из её атрибутов никогда не может быть утрачен и что поэтому с той же самой железной необходимостью, с какой она когда-нибудь истребит на земле своей высший цвет — мыслищий дух, она должна будет его снова породить где-нибудь в другом месте и в другое время»¹.

Этими программными высказываниями Энгельса мы и закончим очерк истории возникновения закона сохранения энергии. Как мы увидим во второй части книги, развитие физики подтвердило точку зрения диалектического материализма на этот закон.

Открытие тесной неразрывной связи материи и движения Д. Томсоном и А. Эйнштейном, открытие внутриатомной энергии пролили новый свет на принципы сохранения и превращения энергии и массы. И уже во времена Энгельса Больцман показал статистический характер второго принципа и высказал идеи, совпадающие с убеждением Энгельса, «что раскалённый сырой материал для солнечной системы нашего мирового острова возник естественным путём, путём превращения движений, которые *присущи от природы* движущейся материи и условия которых должны, следовательно, быть снова произведены материей, хотя бы после миллионов лет, более или менее случайным образом, но с необходимостью, присущей и случаю».

Поиски элементарного закона электродинамики.

Открытие закона сохранения энергии и открытия Фарадея наметили путь для последовательного проведения механистической программы — объяснения мира как одного согласованного механизма, части которого взаимодействуют друг с другом путём непосредственного или посредствующего контакта. О том же говорили и успехи волновой оптики. Тем не менее в учении об электричестве господствовала ньютоновская тенденция — дать формально-безупречное описание фактов электродинамики, в основе которого лежал бы универсальный элементарный закон дальнего действия.

Такая тенденция особенно отчётливо выявлялась в работах *немецких физиков*. Видимо, здесь также проявилась оппозиция антиньютоновской направленности гегелевской философии.

До 1830 г. учение об электричестве и магнетизме располагало законами Кулона для электрических и магнитных взаимодействий, законами Био-Савара и Ампера — для электромагнитных взаимодействий и законом Ома — для гальванической цепи. Затем последовало открытие электромагнитной индукции и законов электролиза Фарадеем, что необычайно усложнило задачу отыскания закона. Тем не менее поиски продолжались. Огромную роль в этом отношении сыграли магнитные исследования Гаусса и Вебера.

Гаусс.

Знаменитый математик Карл Фридрих Гаусс родился 30 апреля 1777 г. в Брауншвейге, в семье, не имевшей достаточных средств к существованию. При поддержке герцога Брауншвейгского Гаусс получил возможность посещать в Брауншвейге Коллегию Карла, а в 1795 г. поступить в Геттингенский университет. В 1799 г. Гаусс получает в Геттингенском университете степень доктора и приват-доцентуру в Брауншвейге. С 1807 г. Гаусс — директор Геттингенской обсерватории и профессор университета. В 1831 г. он приглашает в Геттинген В. Вебера, и они вместе много занимаются физическими проб-

¹ Энгельс, Диалектика природы, Госполитиздат, 1948, стр. 20, 21.

лемами, главным образом теорией земного магнетизма и разработкой электромагнитных измерений. Гаусс умер в Геттингене 23 февраля 1855 г.

Мы остановимся на важных заслугах Гаусса в истории физики. Сюда относится в первую очередь установление рациональной, так называемой абсолютной системы единиц.

Измерение величины — это процесс сравнения её с определённой однородной величиной, принятой за масштаб сравнения. Результат измерения выражается именованным числом, отвлечённая часть числа выражает отношение измеряемой величины к масштабу, наименование указывает на принятый масштаб (локоть, аршин, фут, метр и т. д.). Чтобы получить это число, надо, с одной стороны, выбрать масштаб, с другой — выработать процедуру измерения. Фактически дело обстоит таким образом, что измерение любой физической величины сводится к пространственному отчёту (движение «зайчика» на шкале зеркального гальванометра, движки в схеме мостика, нониуса в спектрометре, стрелки секундомера и т. д.). Правила и манипуляции, связывающие измерение данной величины с таким отчётом, в большинстве случаев настолько сложны, что их обычно не развёртывают, а скрывают за условным наименованием единицы. Так как, однако, физические законы выражаются уравнениями, в которые в качестве алгебраических величин входит числовые значения измеренных физических величин, то

требование логического соответствия правой и левой части равенств при произволе в выборе единиц приводит к загромождению формул переводными множителями, имеющими сложное наименование и численное значение, меняющееся с изменением масштаба той или иной входящей в формулу величины.

При полном произволе в выборе масштаба, методики измерений, трудно представить, какой хаос царил в экспериментальной физике, как трудно было сравнивать результаты измерений различных наблюдателей, если сами измерения носили сугубо относительный характер. Дело особенно осложнилось, когда началось количественное исследование электрических и магнитных явлений. И вот Гаусс в своей знаменитой работе, появившейся в результате совместной с Вебером работы по магнитным измерениям «*Intensitas vis magnetical terrastris ad mensuram absolutam revocata*» («Интенсивность магнитной силы, выраженной в абсолютной мере»), даёт основания рациональной, так называемой абсолютной системы единиц. Согласно принципиальным установкам Гаусса, все физические величины, подлежащие измерению, можно разбить на две группы: основные и производные.

Дух XVIII в. ярко отразился в установках Гаусса. Это, с одной стороны, принятие за основу мер — метрическую систему, с другой — мысль о сведении всех физических явлений к движениям и силам, их производящим. Поистине, что основными единицами в системе Гаусса являются единицы механики: длины — миллиметр, времени — секунда.



Карл Гаусс.

Единица магнитной силы, т. е. количества магнетизма, — это такое количество магнетизма, которое отталкивает равное ему количество, помещенное на расстоянии 1 мм, с силой, равной единице.

Таким образом, единица силы в системе Гаусса равна 10^{-4} дин, единица магнетизма равна 10^{-3} единиц в системе CGSM, единица напряжённости поля 0,1 эрстеда. Правило, по которому устанавливается размерность производных единиц, заключается в том, что коэффициенты формул должны быть возможно проще, обычно равными единице. Так, например, вышеприведённая единица магнетизма получается из основных, если в формуле Кулона для взаимодействия магнитных масс в пустоте положить коэффициент пропорциональности равным единице. Таким же образом единицы электрических величин могут быть получены из закона Кулона для электрических взаимодействий. Но тогда в формулах, выражающих связь между магнитными и электрическими величинами (например, в законе Био-Савара), непременно появятся подлежащие опытному определению коэффициенты, обладающие определённой размерностью и численным значением. Ниже мы рассмотрим, к каким результатам привели эти определения.

Понятно, что Гаусс считал необходимым фундаментально обосновать свою систему надёжно. Им, совместно с Вебером, были разработаны конструкция магнитометров и метод измерения магнитных полей. В своих магнитометрах Гаусс заменил укрепление стрелки на оси подвесом на нити, как у unifilarium, так и bifilarium. Это в сильной степени повысило чувствительность прибора. Методика, разработанная Гауссом, представляет большой принципиальный интерес, так как опирается на действительно физически определяемые величины: напряжённость поля (магнитная сила) и магнитный момент. В методе Гаусса количество магнетизма (магнитная масса) выступает как вспомогательная величина.

Напомним кратко идею Гаусса, ограничиваясь первой степенью приближения в подсчётах.

Если допустить, что размеры магнита магнитометра настолько малы, что на всём его протяжении исследуемое поле H можно считать однородным, и, если далее пренебречь направляющей силой нити подвеса, то в положении, при котором магнит образует угол φ с направлением поля H , на него действует момент, равный $MH \sin \varphi$, где M — магнитный момент. Этот момент равен скорости уменьшения вращательного импульса магнита, т. е. $\frac{d}{dt}(K\varphi)$, где K — момент инерции магнита.

Таким образом.

$$K \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -MH \sin \varphi.$$

При малых углах φ

$$K \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -MH\varphi.$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$\omega = c \sin(\omega t + \gamma),$$

Период колебания магнита будет равен таким образом

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{K}{MH}}.$$

Момент инерции системы можно определить динамическим экспериментом заранее и таким образом определить отсюда величину $A = MH$.

Теперь магнит используется, как источник магнитного поля. Его ось устанавливается перпендикулярно магнитному меридиану. Вспомогательная стрелка m помещается на продолжении оси магнита на запад или восток (первое гауссово положение). Под действием поля магнита M и поля H она отклонится от меридиана на угол φ , определяемый в первом приближении равенством

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2M}{Hr^3},$$

где r — расстояние центров магнита и стрелки. Затем вспомогательную стрелку помещают к северу или югу от магнита (второе гауссово положение), тогда стрелка будет образовывать с меридианом угол φ' , определяемый равенством

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{M}{Hr^3}.$$

Эти измерения дают возможность определить отношение $B = \frac{M}{H}$, и, таким образом, найдутся

$$H = \sqrt{\frac{A}{B}} \quad \text{и} \quad M = \sqrt{AB}.$$

Гаусс воспользовался своим методом для проверки закона Кулона. Соотношение $\operatorname{tg} \varphi = 2 \operatorname{tg} \varphi'$, получаемое из формул

$$H_1 = \frac{2M}{r^3}, \quad H_2 = \frac{M}{r^3},$$

является следствием закона Кулона для взаимодействия точечных полюсов. Гаусс предположил, что полюса взаимодействуют с силой, обратно пропорциональной r^n , где n — целое число. Тогда вычисления приводят к следующим результатам:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{nP}{r^{n+1}} + \frac{Q}{r^{n+3}},$$

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{P}{r^{n+1}} + \frac{Q'}{r^{n+3}},$$

где P , Q , Q' — величины, характеризующие магниты и поле, но не зависящие от r . При достаточно больших r и малых φ и φ' .

$$\varphi = n\varphi'.$$

Гаусс измерял φ и φ' при 15 различных r , от 1,1 м до 4 м, причём оказалось, что $n = 2$. Например, для $r = 3,5$ $\varphi = 6'56,9''$, $\varphi' = 3'28,9''$. Для проверки он положил в формулах для $\operatorname{tg} \varphi$ и $\operatorname{tg} \varphi'$ $n=2$ и вычислил коэффициенты P , Q , Q' по способу наименьших квадратов. Для определения углов получались эмпирические формулы

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,086870 r^{-3} - 0,002185 r^{-5},$$

$$\operatorname{tg} \varphi' = 0,043435 r^{-3} + 0,002449 r^{-5}.$$

Углы, вычисленные по этим формулам, находятся в хорошем совпадении с экспериментальными определениями.

Таким образом, закон Кулона подтверждается. Появившаяся в 1839—1840 гг. в «Результате наблюдений магнитного общества» работа Гаусса «Общие предложения о силах притяжения и отталкивания, действующих обратно пропорционально квадрату расстояния», представляет систематическую теорию потенциального силового поля. Известная из электростатики «теорема Гаусса» доказывается в этом труде.

Пуассон, Грин, Гаусс явились, таким образом, основоположниками математической теории электростатики и магнитостатики. Эти задачи привлекали внимание математиков и физиков в течение всего XIX в.

В. Вебер. Сотрудником Гаусса в его работах по физике был Вильгельм Вебер. Родился Вебер 24 октября 1804 г. в Виттенберге, учился в Галле. Здесь же он получил доцентуру, а в 1828 г. — место экстраординарного профессора. В Галле Вильгельм вместе с братом Эрнстом (родился в 1795 г., умер в 1878 г.) провел исследование, результаты которого составили «Учение о волнах, основанное на опыте, или о волнах капельно-жидких тел с применением к звуковым и световым волнам».

Отметим, что братья Вебер впервые для экспериментального исследования водяных волн и вообще волн в жидкостях применили водяную ванну. В 1831 г. Гаусс, которому было тогда 54 года, пригласил 27-летнего Вильгельма в Геттинген. Здесь он был профессором физики до 1837 г., когда получил отставку. В течение шести лет он проживал в Геттингене как частное лицо, сотрудничая с Гауссом. С 1843 по 1849 г. он был профессором в Лейпциге, где работали его два брата — известный нам уже Эрнст — по физиологии и Эдуард — по анатомии. В 1849 г. Вебер вернулся в Геттинген, где и жил до самой смерти, последовавшей в 1890 г.

Вместе с Гауссом Вебер участвует в конструировании приборов для магнитных измерений и в издании бюллетеня «Результаты наблюдений Магнитного союза», выходявшего в период 1837—1843 гг. Вебер сконструировал инклинатор, затем в 1833 г. вместе с Гауссом они строят, независимо от Шиллинга, электромагнитный телеграф. В Лейпциге Вебер занялся поисками элементарного всеобъемлющего закона электромагнетизма. С этой целью он последовал закону индукции и взаимодействию токов.

Закон индукции.

Количественное (алгебраическое) выражение для индукции было впервые дано Францем Нейманом в 1845 г. Нам, привыкшим теперь к простым и наглядным формулировкам закона индукции Фарадея и Максвелла, трудно себе представить мучительные усилия формальной физики дальнего действия втиснуть новый факт в сферу привычных представлений. Логика вещей заставляла их изобретать какие-то функции конфигурации токов, смысл которых им был не ясен, да они его и не искали, требуя только хорошего количественного совпадения с опытом. Это было время, когда «привычка к вычислениям отучала теоретиков мыслить»¹.

Ф. Нейман (родился в 1798 г., умер в 1895 г.), один из видных представителей Кёнигсбергской школы физиков, подходил к выводу закона индукции в типичном эмпирико-индуктивном духе. Он опирался на следующие пять добытых экспериментально предпосылок: 1) индукционный ток возникает всякий раз, когда изменяется «виртуальное» (возможное) действие индуцирующего тока на провод, т. е. изменяется электромагнитное действие, которое испытывал бы индуцируемый провод при силе тока в нём, равной единице, от индуцирующего тока; 2) индуцированная электродвижущая сила не зависит от материала проводника; 3) при прочих равных условиях сила индуцированного тока пропорциональна скорости перемещения элементов индуцируемого провода; 4) проекция электродинамического взаимодействия между индуцирующим и индуцируемым током на направление перемещения последнего всегда отрицательна (согласно правилу Ленца); 5) при прочих равных условиях сила индуцированного тока пропорциональна силе индуцирующего.

¹ В этой цитате из Энгельса мы умышленно заменили прошедшее время «отучала» несовершенным прошедшим «отучалась». Энгельс писал свою статью («Мера движения. — Работа») лет через 30 после разбираемого нами периода, а к тому времени, по выражению Шустера, стало проявляться стремление прикрывать невежество формулами.

Из этих предпосылок вытекает следующее. Обозначим через R электродинамическое действие, испытываемое единицей длины индуктируемого провода, при силе тока в нём I , от индуктирующего провода. Тогда действие на элемент ds при силе индуктированного тока I равно $IRds$. Но сила индуктированного тока в элементе ds по положению (3) пропорциональна скорости перемещения v элемента $I = I_1 v$. По правилу Ленца, проекция электродинамической силы на направление перемещения, равная для всего замкнутого проводника

$$I_1 v \int R \cos \alpha ds$$

(где α — угол, образованный направлением скорости v с реакцией R), должна быть отрицательной. Таким образом, I_1 и $\int R \cos \alpha ds$ имеют противоположные знаки. Так как, с одной стороны, $I = I_1 v$, а, с другой стороны, I пропорционально силе индуктирующего тока, которому в свою очередь пропорционально действие R , то должно быть

$$I_1 = -k \int R \cos \alpha ds,$$

и наконец

$$I = -kv \int R \cos \alpha ds.$$

Отсюда величина электродвижущей силы индукции, отнесённая к единице длины провода (напряжённость индуцированного электрического поля),

$$E = -\epsilon v R \cos \alpha.$$

Чтобы определить R , Нейман прибегает к закону Ампера для взаимодействия токов, причём этот закон для двух элементов ds_1 и ds_2 , параллельных друг другу и перпендикулярных линии, соединяющей их центры, имеет вид

$$f = \frac{I_1 I_2 ds_1 ds_2}{r^2}.$$

Нейман показывает, что такие силы взаимодействия для *замкнутых токов* имеют потенциал (потенциальную функцию), который для двух замкнутых токов равен

$$w_{12} = -\frac{1}{2} I_1 I_2 \iint \int \frac{\cos \theta}{r} ds_1 ds_2$$

(угол θ — угол между элементами ds_1 и ds_2). Анализируя различные случаи, из которых особенно трудным было согласовать случай индукции в неподвижных проводниках переменным током, Нейман приходит к выводу, что индукция обусловлена изменением потенциала индуктирующего тока по отношению к индуктируемому проводнику в начале и конце процесса индукции.

В работе 1847 г. Нейман резюмирует свои выводы следующим образом: «Если *замкнутый* и *неразветвлённый* проводник A_1 переходит путём какого-либо изменения своих элементов, но с сохранением проводящих связей в другой проводник A_1 иной формы и положения, и если это изменение из A_1 в A_{11} происходит под влиянием электрической системы тока B_1 , которая одновременно в силу произвольного смещения своих элементов изменяет своё положение, форму и интенсивность и переходит из B_1 в B_{11} , то сумма электродвижущих сил, вызванных этими изменениями в проводнике, равна произведению постоянной индукции ϵ на разность потенциалов

тока B_I по отношению к A_I и тока B_{II} по отношению к A_{II} — в предположении, что через A_I и A_{II} протекает единица тока».

Ограниченность формулировки Неймана замкнутыми токами и квазистационарными процессами, в которых игнорируется скорость электромагнитных процессов (так, Нейман предполагает, что индукционное действие одинаково, возбуждается ли индуктирующий ток *внезапно* в цепи, или же внезапно переносится из бесконечности в конечное положение), порождала многочисленные дискуссии, в частности с Вебером. Заметим здесь в скобках, что понятие потенциала, употребляемое Нейманом, ничего общего с потенциальной энергией не имеет. Это чисто формальное выражение для некоторой функции, производными которой являются компоненты электродинамических сил взаимодействия стационарных токов. Действительная магнитная энергия системы токов противоположна по знаку потенциальной функции.

Закон Вебера.

С иной точки зрения подходит к закону индукции Вебер. Он задаётся целью последовательно провести ньютоновскую точку зрения в электродинамике и получить элементарный закон, охватывающий как статические, так и динамические взаимодействия, в том числе и индукцию. При этом Вебер правильно считает, что атомистическая концепция, идея частичных сил, составляет основу ньютоновства. По его мнению, формула Ампера бессодержательна. Она не исходит из каких-либо предпосылок о сущности взаимодействий и ограничивается простым описанием эмпирических фактов.

Вебер ясно и твёрдо устанавливает свою основную гипотезу — это гипотеза существования *двух родов электрических субстанций, имеющих атомистическое строение*. В его знаменитых «*Elektrodynamische Maassbestimmungen*» (Werke, т. IV) читаем: «При всеобщем распространении электричества можно принять, что с *каждым весом атома связан электрический атом*» (стр. 279).

Далее: «Пусть l означает положительную электрическую частицу. Отрицательная часть будет равна ей и противоположна, и потому обозначим её через $-l$. Допустим, что только последняя соединена с весом атома, вследствие чего масса её настолько увеличивается, что, по сравнению с ней, можно пренебречь массой положительной частицы. В таком случае частицу $-l$ можно считать покоящейся и рассматривать только движение частиц $+l$ около отрицательных. Эти неоднородные частицы при вращении $+l$ вокруг $-l$ представляют собою молекулярный ток, так как можно показать, что такие системы вполне соответствуют тем предположениям, которые Ампер сделал относительно своих молекулярных токов» (стр. 281).

Как видим, Вебер является основателем атомистической теории электрических явлений (электронной теории). Можно считать, что он предвидел планетарную теорию атома (молекулярные токи), и одним из первых «электрифицировал» материю. Но здесь нужно указать, что в одной рукописи профессора Московского университета Михаила Григорьевича Павлова, скончавшегося в 1840 г., содержатся мысли, гораздо более близкие планетарной теории Резерфорда — Бора, чем приведённые высказывания Вебера¹.

¹ См. статью И. П. Искольдовского, Забытая теория строения вещества, Арх. ист. науки и техн., т. VII, 1937 г. Основные положения теории Павлова: 1) все вещи произошли из эфира, 2) материя связана в своём строении с электрическим зарядом, 3) элементы имеют планетарное строение, 4) первый элемент построен из $+$ и $-$ зарядов.

Эти идеи Павлов развивал и в своих лекциях. Однако его воззрения не оставили следа и были скорее натурфилософскими догадками, к которым последующее поколение относилось с крайним недоверием.

Итак, Вебер исходит из гипотезы существования электрических частиц (у него роль электронов играют *положительно* заряженные частицы) и ищет элементарный закон взаимодействия. Ток в проводнике, по Веберу, складывается из двух встречных потоков электрических частиц. Сила тока должна быть пропорциональна скорости протекания электричества и заряду частиц.

Если заряд единицы длины обозначить через e , а скорость u , то

$$I = aeu ds,$$

где a — коэффициент пропорциональности. Если же взять формулу Ампера для взаимодействия элементов тока

$$\frac{II'}{r^2} \left(\cos \varepsilon - \frac{3}{2} \cos \theta \cos \theta_1 \right)$$

и заменить

$$I = aeu ds; I' = aeu' ds'; \cos \theta = \frac{dr}{ds}; \cos \theta = \frac{dr}{ds'};$$

$$\cos \varepsilon = -r \frac{d^2 r}{ds ds'} - \frac{dr}{ds} \cdot \frac{dr}{ds'},$$

то сила взаимодействия двух элементов будет

$$\frac{ee' ds ds'}{r^2} a^2 uu' \left(\frac{1}{2} \frac{dr}{ds} \frac{dr}{ds'} - r \frac{d^2 r}{ds ds'} \right). \quad (1)$$

Так как

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{dr}{ds'} \cdot \frac{ds'}{dt} \text{ и } \frac{ds}{dt} = u \frac{ds'}{dt} = u',$$

то

$$\left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = 2uu' \frac{dr}{ds} \frac{dr}{ds'} + u^2 \left(\frac{dr}{ds} \right)^2 + u'^2 \left(\frac{dr}{ds'} \right)^2$$

и

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{d^2 r}{ds^2} u^2 + 2 \frac{d^2 r}{ds ds'} uu' + \frac{d^2 r}{ds'^2} u'^2.$$

Заменив в формуле (1) выражения

$$uu' \frac{dr}{ds} \frac{dr}{ds'}, uu' \frac{d^2 r}{ds ds'},$$

из последних двух формул получим

$$\frac{ee' ds ds'}{r^2} \frac{a^2}{4} \left\{ \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - u^2 \left(\frac{dr}{ds} \right)^2 - u'^2 \left(\frac{dr}{ds'} \right)^2 - 2r \frac{d^2 r}{dt^2} + 2u^2 \frac{d^2 r}{ds^2} + 2u'^2 \frac{d^2 r}{ds'^2} \right\}.$$

Но, по Веберу, в каждом элементе *провода* текут два электрических потока с равными и противоположными скоростями. Просуммировав по всем потокам (причём каждому притяжению сопоставляется отталкивание, и так как $\frac{dr}{ds'} \frac{dr}{ds'}$, и u' сохраняют свою абсолютную величину при смене притяжения отталкиванием и в результате суммирования уничтожатся), получим для взаимодействия двух элементов

$$-\frac{ee' ds ds'}{r^2} \frac{a^2}{16} \left\{ \left(\frac{dr_1}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dr_2}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dr_3}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dr_4}{dt} \right)^2 - 2r \left(\frac{d^2 r_1}{dt^2} - \frac{d^2 r_2}{dt^2} + \frac{d^2 r_3}{dt^2} - \frac{d^2 r_4}{dt^2} \right) \right\}.$$

Итак, взаимодействие элементов токов суммируется из взаимодействий четырёх электричеств. Взаимное действие двух электрических масс, обладающих относительной скоростью $v = \frac{dr}{dt}$, оказывается равным

$$-\frac{ee' ds ds'}{r^2} - \frac{a^2}{16} \left\{ \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - 2r \frac{d^2 r}{dt^2} \right\}.$$

Заменяв $eds=de$, e' , $ds'=de'$ электрическими массами двух точек и учитывая ещё кулоновское отталкивание, находим элементарный закон Вебера

$$F = \frac{de de'}{r^2} \left[1 - \frac{a^2}{16} v^2 + \frac{a^2 r}{8} \frac{dv}{dt} \right].$$

Формула Вебера внесла в механику новый тип сил, зависящих не только от конфигурации взаимодействующих точек, но и от их относительных скоростей и ускорений. Вместо постоянной a в закон можно ввести другую константу c следующим образом. Предположим, что относительная скорость точек равна $c = \text{const} \left(\frac{dc}{dt} = 0 \right)$ и настолько велика, что взаимодействие обращается в нуль, т. е.

$$1 - \frac{a^2}{16} c^2 = 0; \quad a = \frac{4}{c},$$

тогда

$$F = \frac{de de'}{r^2} \left[1 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - \frac{2r}{c^2} \frac{d^2 r}{dt^2} \right]. \quad (2)$$

Интересно, что сила Вебера имеет потенциал $F = -\frac{dv}{dt}$,

где

$$V = -\frac{de de'}{r^2} \left[1 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \right].$$

Закону Вебера можно дать и другое, независящее от формулы Ампера обоснование. Рассмотрим взаимодействие двух каких-либо элементов тока, текущего по одному проводу в определённом направлении. В каждом элементе имеются два разноимённых заряда, и взаимодействие элементов складывается из двух отталкиваний и двух притяжений. Так как разноимённые заряды удаляются друг от друга (текут в противоположных направлениях), то это означает, что сила отталкивания преодолевает силу притяжения. Но как сила отталкивания, так и сила притяжения складывается для элементов, обладающих относительной скоростью v . Но относительная скорость для разноимённых зарядов больше, чем для одноимённых; отсюда можно заключить, что динамическая сила вычитается из статической.

Так как, с другой стороны, при перемещении направления токов отталкивание остаётся тем же, то динамическая сила не зависит от знака v , и её можно положить пропорциональной v^2 , т. е. положить силу взаимодействия двух точечных зарядов равной

$$\frac{de de'}{c^2} = (1 - av^2).$$

Но рассмотрение амперовых взаимодействий параллельных токов показывает, что эти две силы недостаточны для описания процессов и должна быть прибавлена сила, зависящая от ускорения. Окончательно

$$F = \frac{de de'}{r^2} \left(1 - av^2 + b \frac{dv}{dt} \right).$$

Сравнение с силой Ампера приводит к определению констант a и b , и окончательная формула совпадает с формулой (2). С помощью этой формулы Вебер объясняет возникновение электродвижущей силы индукции в движущемся проводнике и находит её выражение. Ход мыслей в рассуждении Вебера таков. Если индуктируемый проводник покоится вблизи индуктирующего проводника, обтекающего током, то силы, действующие на его положительные и отрицательные заряды, одинаковы. Но если проводник движется, то вместе с ним движутся и заряды, и вычисление всех сил взаимодействия даёт разницу в силах, действующих на положительные и отрицательные заряды. Появляется «разъединяющая сила», играющая роль электродвижущей силы индукции.

После этого, по заявлению Неймана, успех Вебера «оказался блестящим. С одной стороны, из этого закона очень просто вытекает закон Ампера для действия двух элементов тока, с другой — и установленный нами общий закон индукции». И теория Вебера, игнорирующая роль среды в электрических взаимодействиях и допускающая мгновенное действие на расстояние, господствовала безраздельно во всех учебниках физики и теоретических работах вплоть до семидесятых годов, представляя как бы бронированный щит, выставленный против фарадеевских идей.

Количественные теоретические исследования в электродинамике становились возможными благодаря успехам электрометрии. В развитии последней заслуга Вебера несомнима.

Прежде всего надо было выбрать единицы электрических величин. Развивая идеи Гаусса об абсолютной системе единиц, Вебер указывает на следующие возможности определения единицы силы тока.

Единица электричества может быть выбрана по примеру гауссовой единицы магнетизма из закона Кулона. Тогда единица силы тока может быть определена как сила тока, «который возникает, когда через каждое поперечное сечение цепи в единицу времени проходит единица свободного положительного электричества в одном направлении и столько же отрицательного в противоположном». Эту единицу, установленную им в 1858 г., Вебер называл *механической*.

Ещё раньше, в первых исследованиях 1846 г., он указал на возможность определения трёх единиц силы тока: это, во-первых, *электролитическая единица*. В качестве такой единицы Вебер предлагает силу тока, который в 1 секунду разлагает 1 мг воды. Вторую единицу он предлагает определить из *магнитных* действий тока. Эта единица определяется, как сила такого тока, который, обтекая плоскость размером в единицу площади, действует на расстоянии совершенно так же, как магнит, обладающий моментом, равным единице, ось которого перпендикулярна плоскости тока. Практически Вебер предлагает использовать для измерения тока в магнитных единицах *тангенс-буссоль*. Единица силы тока, протекая по окружности буссоли, отклонит его на угол $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{2\pi}{rR}$, где R — радиус буссоли, T — горизонтальная составляющая земного магнетизма. В-третьих, единица тока может быть определена из динамических взаимодействий токов. Динамическая единица силы тока — это сила такого тока, который, протекая по элементу длины, равной единице, действует на равный ему параллельный элемент тока, по линии, перпендикулярной к ним, на расстоянии, равном единице, с силой в одну механическую единицу. В качестве примера укажем, что приведённый Нейманом «потенциал» двух токов

$$W_{12} = -\frac{1}{2} \iint I_1 I_2 \frac{\cos \theta}{r} ds_1 ds_2$$

предполагает, что силы токов выражены в электродинамических единицах. Если бы они были выражены в механических единицах, то

$$W_{12} = -I_1 I_2 \iint \frac{\cos \theta}{r} ds_1 ds_2.$$

Отсюда видно, что магнитная единица в $\sqrt{2}$ больше динамической. Это было подтверждено Вебером. Он же нашёл, что магнитная единица в $10^6 \frac{2}{3}$ раза меньше электролитической.

Особенно важным в историческом отношении было произведённое Вебером совместно с Кольраушем в 1856 г. сравнение магнитной единицы с механической. Опыт заключался в следующем. Лейденская банка C заряжалась определённым количеством электричества (это количество электричества могло быть измерено с помощью кулоновских весов). Банка разряжалась через тангенс-гальванометр в течение известного промежутка времени τ . По отклонению φ можно было определить силу тока в магнитных единицах, которая, с другой стороны, равнялась $\frac{e}{\tau}$, где e — количество электричества, измеренное в механических единицах.

Из многочисленных измерений Вебер и Кольрауш нашли, что механическая единица относится к магнитной, как $1 : 155370 \cdot 10^6$, а следовательно, к электродинамической, как $1 : 109860 \cdot 10^6$ и к электролитической, как $1 : 16573 \cdot 10^6$.

Отсюда можно было определить постоянную C в законе Вебера. Она оказалась равной

$$C = 439440 \cdot 10^6 \frac{\text{мм}}{\text{сек}}.$$

Эта величина равна скорости света в пустоте, разделенной на $\sqrt{2}$. Этот важный факт авторами эксперимента был оставлен без внимания.

Продолжая развивать свою систему единиц, Вебер предложил в качестве единицы электродвижущей силы выбрать электродвижущую силу, которая индуцируется в витке проволоки, охватывающей площадь, равную единице, при повороте последнего из положения, параллельного магнитному полю силой в единицу, на угол 90° в течение одной секунды. Тогда абсолютная единица сопротивления оказывалась равной сопротивлению такого проводника, в котором единица электродвижущей силы создаёт ток, равный единице. Она имела размерность скорости и обозначалась $\frac{\text{мм}}{\text{сек}}$.

Предложенная Вебером система, удобная в теоретических расчётах, на практике представляла значительные неудобства. Измерение электродвижущей силы путём сравнения с электродвижущей силой, полученной индукционным толчком, провести было невозможно. Практика выработала методы сравнения электродвижущей силы постоянно действующих источников и методы сравнения сопротивлений, которые позволили, выбрав электродвижущую силу определённого источника за эталон, выражать все электродвижущие силы в этом масштабе.

Метод измерения электродвижущих сил был предложен в 1841 г. Поггендорфом под названием метода компенсации.

К этому времени были уже известны достаточно устойчивые (деполяризационные) гальванические элементы. Первым построил постоянный элемент в 1829 г. А. Беккерель. Затем, в 1836 г., сконструировал свой известный элемент с двумя жидкостями Даниэль. Этот элемент благодаря простоте устройства и достаточной надёжности (он сохранился и поныне в школьной практике) был в большом ходу. До изобретения «нормальных» элементов (Кларк, 1872) элемент Даниэля служил эталоном, и единица электродвижущей силы «Даниэль» была в ходу в конце прошлого века.

Элемент Грове (1839) давал в 1,5 раза большую электродвижущую силу, чем элемент Даниэля. Это также элемент с двумя жидкостями, H_2SO_4 и HNO_3 . Электроды: платина в растворе HNO_3 и цинк в растворе H_2SO_4 .

Бунзен в 1841 г. заменил дорогостоящую платину прессованным углем. Батареи Бунзена и Грове вплоть до изобретения динамо-машины были главнейшими источниками электричества. Понятно, что электроэнергия была не дешева. Для слабых токов (в телеграфии) применялись в шестидесятих годах элементы Мсиднера, изобретенные в 1859 г.

В 1844 г. Ч. Уитстон (вначале музыкальный мастер, а затем профессор физики) предложил известную под названием «мостика Уитстона» схему для измерения сопротивлений. Эта схема позволяла, имея соответствующие эталоны, определять неизвестное сопротивление. Формулу для расчета сопротивления по этому методу

$$\frac{x}{R_1} = \frac{R_4}{R_2}$$

вывел Поггендорф и вместе с В. Вебером экспериментально проверил её правильность. Уитстон предложил в качестве эталона сопротивления медную проволоку длиной в 1 фут и весом 100 гран (6,5 г).

Русский физик Якоби изготовил и разослал по физическим лабораториям эталон в виде медной проволоки длиной 25 футов (7,62 м) и толщиной $\frac{2}{3}$ мм, весом 22449,3 мг. Вебер в 1852 г. измерил этот эталон в абсолютной мере.

Сопротивление оказалось равным $598 \cdot 10^7$ (0,551 ома).

Эталон Якоби долго использовался в качестве единицы, но в конце концов выяснилось, что медь не обладает необходимым постоянством. Поэтому французские физики Пулье, Мари-Дэви и Деларив предложили ртуть. Вернер Симменс в 1860 г. предложил ртутный эталон в виде ртутного столба длиной 1 м и поперечным сечением в 1 мм^2 при 0°C (единица Сименса). В 1861 г. Британская ассоциация и Королевское общество учредили специальную комиссию во главе с В. Томсоном для разработки вопроса о единицах. Однако в рассматриваемый нами период вопрос ещё разрешения не получил.

Из изложенного выше нетрудно усмотреть, что практические измерительные схемы (Поггендорфа, Уитстона) уже требовали знания законов разветвления токов. Частные случаи этой проблемы рассматривали и сам Ом и Уитстон, Ленц, Поггендорф, Вебер, Пулье. В общем виде эта проблема была поставлена и решена студентом Г. Кирхгофом в 1845 г., когда будущему известному физiku было всего 21 год.

Законы распределения токов в сложных цепях Кирхгоф дал в виде приложений к работе «О прохождении тока через плоскость, в частности ограниченную окружностью». Законы Кирхгофа гласят:

«Если через систему проводов, связанных между собою произвольным образом, проходят гальванические токи, то:

1) в случае, если провода 1, 2... ν сходятся в одной точке

$$I_1 + I_2 + \dots + I_\nu = 0,$$

где $I_1, I_2, \dots, I_\nu$ обозначают силы тока, проходящих по соответствующим проводам, причём все токи, направленные к упомянутой точке, являются положительными;

2) в случае, если провода 1, 2... ν образуют замкнутую фигуру,

$$I_1 W_1 + I_2 W_2 + \dots + I_\nu W_\nu,$$

равно сумме всех электродвижущих сил, образующихся на пути 1, 2... ν , где $W_1, W_2, \dots, W_\nu$ обозначают сопротивления проводов, $I_1, I_2, \dots, I_\nu$ силы протекающих по ним токов, причём токи, текущие в одном направлении, считаются положительными».

В работе 1847 г. Кирхгоф дал вывод своих уравнений и общее решение задачи о разветвлении токов. Это решение гласит.

«Пусть m представляет общее число точек пересечения, т. е. точек встречи двух или большего числа проводов, и пусть $\mu = n - m + 1$; тогда общим знаменателем для всех величин I_ν будет сумма тех сочетаний из

$W_1, W_2, \dots, W_n$ по μ элементов в каждом, $W_{k_1}, W_{k_2}, \dots, W_{k_\mu}$, которые обладают тем свойством, что по удалении проволок $k_1, k_2, \dots, k_\mu$ не остаётся ни одной замкнутой фигуры; а числителем для I_ν является сумма сочетаний из $W_1, W_2, \dots, W_n$ по $\mu - 1$ в каждом $W_{k_1}, W_{k_2}, \dots, W_{k_{\mu-1}}$, имеющих то свойство, что по удалении проводов $k_1, k_2, \dots, k_{\mu-1}$ остаётся замкнутая фигура, заключающая в себе ν -й провод; каждое из этих сочетаний помножается на сумму электродвижущих сил, находящихся на соответствующей замкнутой фигуре. При этом электродвижущие силы следует считать положительными в том направлении, в котором I считается положительным». (Здесь n — общее число связанных проводов, $W_1, W_2, \dots, W_n$ — соответственно сопротивления этих проводов).

Поясним правило Кирхгофа простым примером. Представим себе цепь, содержащую главную ветвь с источником E и три параллельно соединённых проводника, сопротивления которых равны соответственно W_1, W_2, W_3 . Сопротивление главной ветви обозначим W_4 . Таким образом, в нашем примере $n = 4, m = 2$ (две узловые точки a и b).

Поэтому $\mu = n - m + 1 = 3$, $\mu - 1 = 2$. Знаменатель будет содержать сочетания из W_1, W_2, W_3, W_4 по 3, числитель по 2.

Чтобы составить знаменатель, надо составить произведения из сопротивлений трёх проводов, таких, чтобы по их удалении не оставалось ни одной замкнутой фигуры. Это будут $W_1W_2W_3, W_1W_2W_4, W_2W_3W_4, W_1W_3W_4$. Других сочетаний нет. Для составления I_ν надо образовать одну замкнутую фигуру, удаляя два остальных провода так, чтобы в фигуру входил ν -й провод. Для тока I_1 это можно сделать единственным образом, удаляя сопротивления W_2 и W_3 . В оставшемся контуре будет E . Таким образом, числитель для тока I_1 будет EW_2W_3 .

Для тока I_2 числитель будет EW_1W_3 , для I_3 он равен EW_1W_2 . Для I_4 провод R можно сохранить в замкнутом контуре тремя способами: удаляя W_1W_2 , удаляя W_1W_3 , удаляя W_2W_3 . Поэтому числитель для тока I_4 будет $E(W_1W_2 + W_1W_3 + W_2W_3)$. Выражения для токов будут

$$I_1 = E \frac{w_2 w_3}{w_1 w_2 w_3 + w_4 (w_2 w_3 + w_1 w_3 + w_1 w_2)},$$

$$I_2 = E \frac{w_1 w_3}{w_1 w_2 w_3 + w_4 (w_1 w_3 + w_2 w_3 + w_1 w_2)},$$

$$I_3 = E \frac{w_1 w_2}{w_1 w_2 w_3 + w_4 (w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3)},$$

$$I_4 = E \frac{w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3}{w_1 w_2 w_3 + w_4 (w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3)}.$$



Б. С. Якоби.

Нетрудно убедиться проверкой, что $I_4 = I_1 + I_2 + I_3$. Кирхгоф не только решил задачу о стационарном распределении линейных токов, но, как показывает само название работы 1845 г., и задачу о распределении тока в плоскости. Он изучил распределение линий тока и эквипотенциальных

линий в пластинке. Более общая задача распределения тока по поверхности была решена им и Н. А. Умовым значительно позже.

Второй закон означает, что потенциалы всех точек в установившемся процессе постоянны. Поэтому изменение режима в любом участке разветвленной цепи вызовет соответствующие изменения во всех остальных участках, так, чтобы законы Кирхгофа вновь были удовлетворены.

Измерительные
приборы.
Технические
приложения.

Понятно, что все эти количественные исследования и измерения предъявляли всё более и более повышенные требования к измерительным приборам. Рассматриваемый период характеризуется интенсивным развитием электроизмерительной техники, вырабатываются основные формы конструкций электроизмерительных приборов, равно как и приёмы измерения различных электрических величин и вспомогательная аппаратура. В это время конструируются такие регуляторы тока, как реохорды (Поггендорф), агометры (Якоби) и, наконец, реостаты и магазины. Зажимы и клеммы, ртутные контакты, переключатели, все эти казалось бы очень простые, но необходимые приспособления создаются в этот период.

Измерители и индикаторы тока (амперметры, гальваноскопы, гальванометры) конструктивно оформляются. Фарадей ещё пользуется поггендорфским мультипликатором. В это время Вебер в Геттингене конструирует тангенс- и синус-буссоль, электродинамометр. Это были первые измерители тока. Тангенс-гальванометр представляет, как известно, круглую рамку, обмотанную или одним проводом (медный круг), или несколькими витками. В центре круга на оси помещена магнитная стрелка, положение которой отсчитывается по горизонтальному кругу с делениями. Площадь рамки устанавливается в плоскости магнитного меридиана. Если по обмотке пробегает ток, то в центре создается поле

$$H = \frac{2\pi nI}{R},$$

где R — радиус круга. С другой стороны, по выходе стрелки из плоскости меридиана на неё будет действовать горизонтальная составляющая земного поля H_0 . Стрелка отклонится из плоскости меридиана на угол φ , для которого моменты сил, создаваемые полями H и H_0 , уравниваются. В этом случае

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{H}{H_0} = \frac{2\pi nI}{RH_0}.$$

У синус-буссоли обмотка вращается около вертикальной оси и по выходе стрелки из плоскости магнитного меридиана (с которой вначале совпадает плоскость обмотки) она вращается до тех пор, пока стрелка вновь не будет в её плоскости.

В этом случае

$$H = \frac{2\pi nI}{R} = H_0 \sin \varphi,$$

где φ — угол, на который повернулась плоскость обмотки.

Электродинамометр Вебера, которым он пользовался для проверки законов взаимодействия токов, состоит из двух катушек — неподвижной и подвижной, подвешенной на бифилярном подвесе, который служит и для подвода тока. Центры обеих катушек совпадают, но плоскости взаимно перпендикулярны. Вращательный момент, испытываемый подвижной катушкой, пропорционален квадрату силы тока (при условии, что через обе катушки проходит один и тот же ток). Электродинамометр Вебера явился прототипом приборов *электродинамической системы*.

Серьезную эволюцию претерпели измерители слабых токов — *гальванометры*. Гаусс и Вебер работали с большим мультипликатором эллиптического сечения, в центре которого был подвешен на длинной шелковой нити большой стальной магнит длиной 30 см и весом 500 г. К нити было прикреплено для отсчета зеркало (зеркальный отсчет по методу зеркала и шкалы был предложен в 1826 г. Поггендорфом). Период колебаний магнита 14 секунд. Так как дожидаться успокоения системы было почти невозможно, то Вебер прибегал к специальным методам измерения и впервые предложил успокоитель в виде медной массы, окружающей магнит (явление Араго).

Чрезвычайно чувствительный гальванометр для работы по испытанию трансатлантического кабеля сконструировал В. Томсон в 1854 г. Легкая подвижная аstaticеская система состоит из маленьких магнитиков, наклеенных на зеркальце и слюдяной кружок, скрепленных вместе тонкой проволочкой и подвешенных на тонкой коконовой нити между двумя парами катушек. Гальванометр помещен в стеклянном футляре, на крышке которого находится латунный стержень с передвигающимся вдоль него аstaticирующим магнитом (служит для ослабления действия на подвижную систему земного магнитного поля). Это аstaticирующее приспособление было предложено в 1841 г. Меллони; оно повышает чувствительность прибора.

В процессе работы по исследованию кабеля Томсон предложил в 1867 г. и другой тип гальванометра, из которого развились впоследствии гальванометры магнитоэлектрической системы. Между полюсами электромагнита подвешена легкая рамка, обмотанная тонкой токонесущей проволокой. Для концентрации магнитного потока внутри пространства, охватываемого рамкой, помещено подходящей формы тело из мягкого железа.

В. Томсону принадлежит и конструкция точных электрометров — *квадрантного и абсолютного*, описанных им в 1855 и в 1867 гг. В абсолютном электрометре реализована Ломоносовская идея измерения электрической силы по силе притяжения пластин.

Конструкция приборов развивалась, как показывает пример В. Томсона, в тесной связи с техническими применениями электричества. Уже в 1850 г. Вернер Сименс организовал вместе с Гальске электротехническую фирму, известную своей электронизмерительной аппаратурой. При существовавших тогда источниках тока электротехника была электротехникой слабых токов. Чрезвычайно интересно, что пионером такой передовой отрасли, как электротехника, являлась Россия.

Мы уже упоминали о телеграфе Шиллинга. В 1833 г. Гаусс и Вебер построили по принципу Шиллинга телеграфную линию в Геттингене протяжением 4 000 футов между обсерваторией и физической лабо-

ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА

ИЛИ

СПОСОБЪ,

ПО ДАННЫМЪ ОБРАЗЦАМЪ ПРОИЗВЕ-
ДИТЬ МѢДЯНЫЯ ИЗДѢЛІЯ НОБЪ МѢДНЫХЪ
РАСТВОРОВЪ, ПОМОЩІЮ ГАЛЬВАНИЗМА

М. Е. Якоби.

Доктора Философіи, Идентичнаго Сопоставленія и члена ИМ.
ИМПЕРАТОРСКОГО Академіи Наукъ

СЪ ОДНІМЪ ЧЕРТЕЖЕМЪ.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГЪ.

ВЪ ТИПОГРАФІИ И. ГЛАЗУНОВА и К^о

1846.

Рис. 236. Титульный лист
«Гальванопластики».

раторией. «Это устройство, — писал Гаусс Ольберсу, — было испытано нами для телеграфирования, вполне удалась опыты с передачей целых слов и даже простых фаз». Эти стрелочные аппараты стал вводить на английских железных дорогах в 1837 г. Уитстон. Однако настоящее распространение телеграфия получила только после того, как в том же году Морзе предложил свой аппарат с электромагнитом.

Его практически пригодный аппарат был изготoвлен в 1840 г., а в 1844 г. была открыта первая телеграфная линия, оборудованная аппаратами Морзе, между Вашингтоном и Балтиморой. В 1866 г., при активном содействии В. Томсона, была осуществлена постоянная трансатлантическая связь (работы по прокладке кабеля начались в 50-х годах).

Большое значение в развитии электротехники имели работы русского физика Б. С. Якоби (1801—1874). С 1837 г. Якоби принимает участие в работе комиссии, организованной в Петербурге по вопросу о применении электромагнетизма для приведения в движение

машин. Здесь он совместно с Ленцем исследует законы намагничивания железа и электромагнитное притяжение. Он конструирует агометр для регулировки напряжения.

В 1838 г. Якоби изобретает гальванопластинку — электролитический способ получения копий. В 1839 г. Якоби построил лодку, приводимую в движение электродвигателем, который развивал от батареи в 69 элементов Грове мощность 1 л. с. и двигал против течения лодку с 14 пассажирами. В 1842—1845 гг. Якоби консультирует проводку телеграфа с подземным кабелем между Петербургом и Царским Селом. Якоби самостоятельно разрабатывает конструкции телеграфных аппаратов, в частности им на пять лет раньше Юза был создан буквопечатающий аппарат.

Много внимания Якоби уделял вопросам электротехники и метрологии. В 1867 г. он в качестве русского делегата участвует в Международной комиссии мер и весов, где выступает активным поборником метрической системы.

Итак, первый опыт использования движущей силы электричества был осуществлен в России. Но путь для широкого использования электричества был закрыт из-за отсутствия мощных и дешёвых источников электроэнергии. Машины с постоянными магнитами (индукторы) уже применялись, но они не могли развивать больших электродвижущих сил из-за слабых магнитных потоков постоянных магнитов. Кроме того, эти машины были машинами переменного тока.

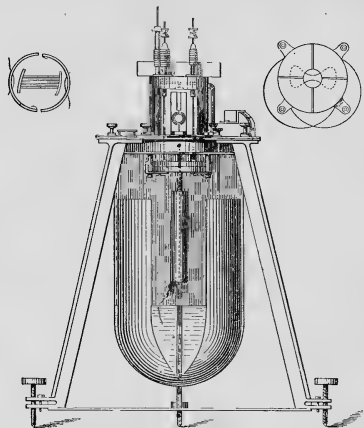


Рис. 237. Квадрантный электрометр.

В апреле 1866 г. Уайльд в Манчестере сконструировал первую динамо-машину с электромагнитами, возбуждение которых производилось магнитоэлектрической машиной. В это же время был нащупан принцип самовозбуждения. Патент принадлежит Вернеру Сименсу, но независимо от него к той же идее (использование остаточного магнетизма) пришёл его брат Вильгельм, Муррей, Варлей, Уитстон и в мае 1867 г. лондонский механик Лодд демонстрировал на Лондонской выставке динамо-машину независимого возбуждения с двумя индукторами.

Принцип выпрямления тока (коллектор) был высказан итальянским профессором Пачиноти, но практически пригодная динамо-машина была построена в 1868 г. бельгийским рабочим Граммом, пришедшим к своему изобретению независимо от Пачиноти. Так на рубеже 70-х годов зародилась электротехника сильных токов.

Триумф волновой теории света, отмеченный нами в конце прошлого периода, обязывал эту последнюю расширить область своего применения, включить в орбиту волновых представлений явления, ещё не охваченные теорией, в первую очередь явления дисперсии света и, наконец, разработать ясную, согласную с законами механики модель эфира, объясняющую оптические процессы.

Наконец, в свете учения о сохранении и превращении энергии надо было выяснить отношение световой энергии к другим формам энергии, т. е. исследовать процессы, связанные с возникновением и поглощением света. Было ясно, что решение этих проблем означало бы существенное обогащение физического мировоззрения. И, несмотря на победу волновой теории, борьба ещё продолжалась, ибо к победителю предъявлялись серьёзные требования.

Для окончательного упрочения волновой теории необходимо было решить спор XVII в. о том: где больше скорость распространения света, в веществе или в вакууме? XVII век не мог решить этого вопроса, тогда знали только астрономический способ определения скорости света, именно метод Рёмера. XVIII век обогатился новым, но также астрономическим методом определения скорости света.

Мы имеем в виду *абберацию* света, открытую Брадлеем (1693—1762), который сообщил о своём открытии и его объяснении Королевскому обществу в 1728 г. Ввиду важного значения этого открытия в последующей истории оптики мы остановимся здесь на нём подробнее.

Желая обнаружить параллактические смещения звёзд относительно полюса при движении земли, Брайлей укрепил вертикально телескоп и наблюдал в него звезду γ Дракона. Первые наблюдения были сделаны 14 декабря 1725 г., а 28 декабря Брайлей уже заметил смещение к югу, это смещение подтвердилось 1 января.

В марте звезда достигла крайнего смещения к югу, затем повернула к северу и в сентябре достигла крайнего северного положения, затем вновь пошла к югу и к концу года закончила цикл своих перемещений, совершив колебание с полным размахом $40''$. Однако это смещение не было искомым параллактическим, и Брайлей долго не мог найти ему объяснения. После ряда наблюдений над различными звёздами он нашёл правильное объяснение. «Наконец я догадался, что все упомянутые явления происходят от постепенного распространения света и годичного движения земли по своей орбите». Представим себе, что наблюдатель в точке A (рис. 239) наблюдает светило S по направлению AMS , образуя угол ω с направлением движения Земли и наблюдателя. Когда наблюдатель вследствие движения Земли перейдёт из A в C , то свет, идущий из точки M , пойдёт не в центр

трубы, а его, так сказать, «отнесёт» в сторону, противоположную движению, и наблюдатель должен установить трубу в направлении AMS' по движению так, как это делает пешеход с зонтиком во время дождя, наклоняя его в сторону движения. $\angle S'MS = \alpha$ и есть угол абберации. В $\triangle AMC$: $AC = vt$, $MC = ct$, где v — скорость Земли, c — скорость света, α — угол абберации

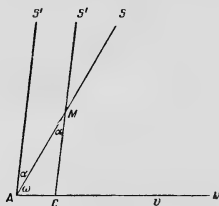


Рис. 238. К абберации света.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \omega} = \frac{Ac}{Mc} = \frac{vt}{ct}; \sin \alpha = \frac{v}{c} \sin \omega;$$

$\alpha = \max = 20''445$, когда $\omega = 90^\circ$ (случай Брайля); для таких углов $\sin \alpha = \tan \alpha = \alpha$ (для $\alpha = 20'' \sin \alpha = \tan \alpha = \alpha = 0,0001$); следовательно $c = \frac{v}{0,0001}$, и так

как $v = 30 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$, то $c = 300\,000 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$.

Такое ясное и непринуждённое истолкование абберации получается при допущении корпускулярной теории света. Таким образом, астрономические методы

определения скорости света скорее говорили в пользу ньютоновской теории, чем гюйгеновской.

В 1849 г. Физо (1819—1896) впервые произвёл измерение скорости в земных условиях. Метод Физо заключался в периодическом прерывании измеряемого светового импульса (это обстоятельство, как показал впоследствии Релей, имеет существенное значение в понимании того, какая

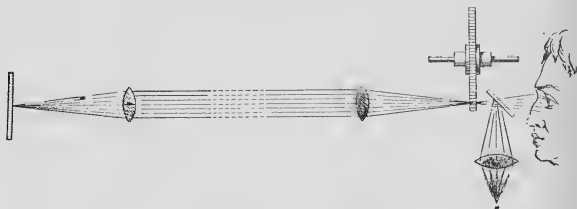


Рис. 239. Опыт Физо.

именно скорость измеряется в данном опыте). Луч света, идущий от точечного сильного источника, концентрируется с помощью линз и наклонной полусеребряной пластинки на периферии зубчатого колеса (рис. 239). Пройдя промежуток между зубцами, лучок расходится и, попадая на линзу, становится параллельным. В приёмном пункте этот лучок фиксируется на зеркале, и, отразившись, пройдя в обратном направлении весь путь, частично пройдёт через пластину в глаз наблюдателя. При медленном вращении колеса наблюдатель различает чередования зубцов и промежутков, но затем, при ускорении вращения, впечатление сливается и наблюдатель видит край колеса равномерно серым.

Однако при некоторой скорости вращения освещённость точки колеса, на которой концентрируется свет, исчезает. Очевидно, это случится

тогда, когда промежуток времени, затрачиваемый светом на прохождение от колеса до зеркала и обратно, равен промежутку времени, когда промежуток между зубцами сменяется зубцом. При удвоении скорости вращения колеса светящаяся точка вновь появляется. Таким образом, время исчезновения света есть время, в течение которого колесо повернётся на $\frac{1}{2n}$ часть окружности, где n — число зубцов. Если N — число оборотов в секунду, то это время

$$t = \frac{1}{2nN},$$

с другой стороны, это время $t = \frac{2l}{c}$,

$$t = \frac{2l}{c},$$

откуда

$$c = 4\pi Nl.$$

В опыте Физо $l = 8,633$ км, $n = 720$, $N = 12,6$, $c = 313\,300 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$

Фуко (1819—1868), который одновременно с Физо начал по предложению Парижской академии разработку метода измерения скорости света, разработал метод его определения вращающимся зеркалом. В установке Фуко зеркало mp вращается около вертикальной оси o . Источник света (светящаяся щель S) проектируется линзой aK в S' (рис. 240—241). Но на пути пучок перехватывается зеркалом mor и отбрасывается на сферическое зеркало Z , радиус которого равен расстоянию oZ . Отразившись от Z , лучи идут по тому же направлению к mp , но теперь зеркало повернётся на угол $p'or = \alpha$, в результате чего лучи после отражения кажутся выходящими не из точки S' , а из точки L , причём $\angle S'OL = 2\alpha$.

Пучок лучей, отразившись от зеркала mor , идёт к источнику S , но на пути он перехватывается полупосеребрённой пластинкой tq . Если зеркало mp неподвижно, то изображение щели S получается в S'' , где и рассматривается в лупу. Если же зеркало повернулось на угол α , то луч света, идущий по направлению ob , будет направлен пластинкой tq к b' , и наблюдатель увидит изображение щели не в S , а в b' . Смещение $S''b'$ очевидно, равно $Sb = \delta$. Если $OS = l$, $oZ = r$, то

$$2\alpha = \frac{Sb}{oS} = \frac{\delta}{l}; \quad \alpha = \frac{\delta}{2l}.$$

Если N — число оборотов зеркала в секунду, то за время t , когда свет идёт от зеркала mp к зеркалу Z и обратно, равное $t = \frac{2r}{c}$, зеркало mp повернётся на угол α ; следовательно,

$$t = \frac{\alpha}{2\pi N}, \quad \text{откуда} \quad \frac{2r}{c} = \frac{\alpha}{2\pi N} = \frac{\delta}{4\pi Nl}.$$

откуда получаем

$$c = \frac{8\pi Nlr}{\delta}$$

Радиус зеркала Z у Фуко равнялся $r = 4$ м, число оборотов зеркала mp доходило до $N = 800$. Чтобы увеличить r , Фуко ставил Z наклонно к oZ ; отразившись от Z лучи заставлял падать на второе такое же зеркало и т. д.; пока свет не падал нормально на пятое зеркало, от которого шёл уже по

прежнему пути. Таким путём Фуко увеличивал r до 20 м. При этом смещение $\delta = 0,7$ мм, скорость света оказалась равной $c = 289\,000 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$.

Метод Фуко при всём его несовершенстве (в глаз попадает очень малая доля энергии, отражённая от mp , потому что, пока зеркало mp совершит полный оборот, к нему вернётся только та доля световой энергии, которая относится ко всей упавшей на него энергии, как угловое отверстие зеркала Z относится к окружности, и это, не говоря уже о других, неизбежных

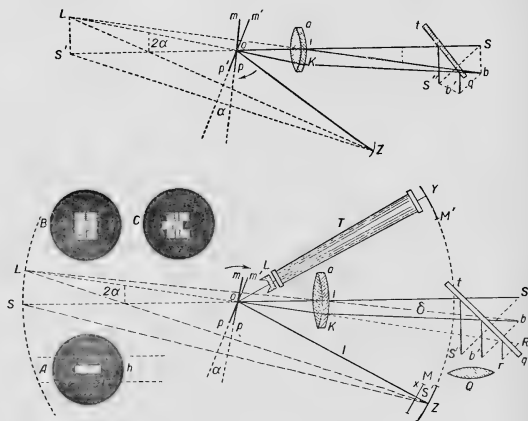


Рис. 240—241. Опыт Фуко.

в этих методах потерях энергии) дал возможность сравнить скорость света в воде со скоростью в воздухе.

Установка Фуко в этом случае отличается тем, что симметрично сферическому зеркалу Z помещено зеркало Y , и, таким образом, при покое или медленно вращающемся зеркале mp в S'' накладываются два изображения S'' от Z и Y (рис. 241 нижний). Далее, на пути oY помещается труба, наполненная водой (вогнутая линза L нужна для прежней фокусировки луча на Y , и, таким образом, при покое или медленно вращающемся зеркале mp оба изображения остаются наложенными). При быстром вращении зеркала mp оба изображения смещаются, смещения соответственно равны

$$\delta = \frac{8\pi N l r}{c}; \quad \delta' = \frac{8\pi N l r}{c'}.$$

Чтобы различать эти смещения, Фуко помещал перед источником S четырёхугольную диафрагму с натянутой посередине нитью, а перед зеркалом Z — диафрагму с горизонтальной щелью, так что в отсутствии зеркала

У и при покоящемся mr в S'' видна была светлая горизонтальная полоса с тёмной линией посередине (Δh). Если же имеется зеркало У, то при неподвижном зеркале mr видны в S'' три полосы с тёмной линией посередине (картина В) — центральная светлая от Z до У и две крайних, зеленоватых, ослабленных в воде, изображение от У. При быстром вращении зеркала mr обе полосы начинают смещаться, но смещение крайних зеленоватых полос больше ($\delta' > \delta$) (картина С), а следовательно, $C' < C$. При этом отношение δ'/δ оказалось равным приблизительно $4/3$. Этот эксперимент Фуко и считался *experimentum crucis*, нанёсшим окончательный удар корпускулярной теории света.

Скорость света и эфир.

Определение скорости света, как выяснилось в дальнейшем развитии физики, сами по себе представляют огромный интерес ввиду важного значения этой физической константы. И хотя мы сейчас не склонны считать опыт Фуко решающим, ввиду того что, как было выяснено Релеем и дополнено затем Эренфестом, во всех прямых измерениях скорости света речь идёт о так называемой *групповой* скорости, в то время как в законе Снеллиуса-Декарта речь идёт о *фазовой* скорости, тем не менее историческая ценность этого опыта неоспорима.

Дело в том, что этот опыт, будучи в глазах современников решающим аргументом в пользу теории Гюйгенса — Френели, вызвал постановку вопроса об отношении эфира к движению тел. И здесь мы прежде всего встречаемся с абберацией света. Мы видели, что это явление допускает естественное и неспринуждённое истолкование с точки зрения корпускулярной теории. Но как объяснить его с точки зрения волновой теории?

В корпускулярной теории основа расчёта — суперпозиция скоростей света и Земли, т. е. независимость скорости света от движения наблюдателя. Для волновой теории это допущение означает, что распространение света в эфире не зависит от движения находящихся в нём тел, и, как полагал Челли, явление абберации как раз и доказывает неподвижность эфира и движение земли. В противоположность этому Стокс (1846), оповываясь на аналогии с гидродинамикой, выдвинул утверждение, что эфир, прилегающий к Земле, *полностью* увлекается вместе с ней, что последующие слои движутся всё медленнее и медленнее, и это обстоятельство вызывает искривление волнового фронта, что и воспримается как абберация. Таким образом, как сформулировал положение вещей Физо, может быть сделан выбор между тремя равновероятными гипотезами: 1) эфир движется вместе с частицами тел (гипотеза полного увлечения эфира), 2) эфир совершенно неподвижен и не увлекается частицами движущихся тел и 3) эфир увлекается частично.

Как известно, в 1818 г. Френель высказался в пользу третьей гипотезы и дал выражения для коэффициента увлечения $K = 1 - \frac{1}{n^2}$. Физо решил поставить соответствующий эксперимент (1851). Трубка $ABB'A'$ разделена перегородкой на две части, оставляя сообщение между обеими половинами, так что по обе стороны от перегородки вода циркулирует под сильным давлением в противоположных направлениях. Пучок света, идущий от S (рис. 242), разделяется диафрагмой OO' на две части, из которых одна идёт по одной стороне от перегородки, другая — по противоположной. Оба пучка потом соединяются пластинами RR' в M' , и здесь наблюдается интерференционная картина сначала при покоящейся воде. Затем вода приводится в движение, и тогда один пучок (если верна теория частичного увлечения) идёт всё время по направлению движения воды и, следовательно, имеет скорость $c_1 = c + kv$, другой — против и имеет скорость $c_2 = c - kv$.

В результате должно наблюдаться смещение интерференционных полос, позволяющее вычислить k . Это действительно и наблюдалось в опыте Физо ($v = 7$ м/сек, и k оказался равным $1 - \frac{1}{n^2}$, т. е. коэффициенту Френеля).

Гипотеза Френеля подтвердилась и опытом с абберацией. Так как абберационный угол определяется соотношением между скоростью света и скоростью Земли, то можно думать, что, заполняя трубу средой с показателем преломления n (например водой), мы увеличим этот угол в n раз.

В действительности опыты Эри показали, что угол абберации не зависит от показателя преломления. Этот результат можно истолковать, как подтверждение теории Френеля.

Таким образом, опыты по измерению скорости света, проведённые в рассматриваемый нами период, как казалось, полностью подтвердили волновую теорию света Гюйгенса — Френеля и в частности подтвердили гипотезу Френеля о частичном увлечении эфира движущимися телами.

В тесной связи с вопросом о роли движения наблюдателя, а также и источника по отношению к наблюдателю находится принцип Доплера (1803—1853). Найденный им принцип был изложен в мемуаре «Об окрашенном свете двойных звёзд», вышедшем в Праге в 1842 г. Доплер при выводе своего принципа руководился акустической аналогией. Скорость звука определяется упругостью и плотностью той среды, в которой распространяются звуковые волны, и, следовательно, не зависит от состояния источника.

«Волны покидают источник, не вспоминая о нём» (Зоммерфельд). Но в таком случае расчёт, проведённый Доплером, показывает, что наблюдатель будет воспринимать частоту колебаний, посылаемых источником, изменённой, причём это изменение будет различным, смотря по тому, движется ли источник к наблюдателю, или, наоборот, наблюдатель к источнику.

Доплер распространил свою теорию и на световые волны и полагал, что окраска двойных звёзд, наблюдаемая астрономами, обязана своим происхождением их движению, в действительности же звёзды белые. Эта гипотеза Доплера встретила основательные возражения, хотя в акустике эффект Доплера был проверен экспериментально. Только открытие спектрального анализа дало возможность экспериментальной проверки эффекта в оптике, а вместе с тем и основу для решения важного вопроса — применим ли он в оптике полностью со всеми следствиями, как и в акустике. Но решение этих вопросов относится уже к XX веку.

Дисперсия
света. Развитие
спектроскопии.

Хотя измерения скорости света и принесли победу волновой теории, однако корпускулярная теория сохранила за собой преимущество в объяснении дисперсии.

В самом деле, как известно, звуковые волны преломляются совершенно одинаково, независимо от длины волны. Если свет — волны в эфире, то скорость их распространения должна определяться только упругостью и плотностью последнего. Цвет света не должен влиять на распространение; значит, по волновой теории дисперсия невозможна.

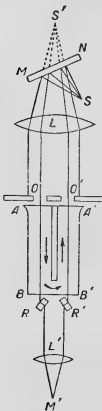


Рис. 242.
Опыт Физо.

Именно это возражение выдвинул Пуассон против теории Френеля. Френель возразил, что он в своей теории не учитывал влияния частиц вещества, а это влияние, несомненно, должно зависеть от длины волны. Эту идею и развивал Коши в своей теории дисперсии, которую он изложил в ряде мемуаров, начиная с 1829 г. Коши приписывал эфиру атомное строение, однако полагал, что размеры атомов эфира исчезающе малы по сравнению с расстояниями между ними. В свою очередь эти расстояния малы по отношению к длинам световых волн. В телах, где длина волны короче, это отношение становится уже конечным и его следует учитывать при распространении волн. Обработывая математически развитые представления, Коши получил формулу для показателя преломления:

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \frac{D}{\lambda^6} + \dots$$

Эта формула подтверждалась экспериментально в тех пределах, которые были тогда известны. Однако дальнейшее изучение спектров показало недостаточность формулы Коши. Экспериментальное изучение дисперсии ведёт своё начало от Фраунгофера. Его оптическая практика (он был оптическим мастером, сыном стекольщика) показала ему, что улучшение ахроматических свойств объективов требует тщательного количественного изучения дисперсии. С этой целью Фраунгофер стал промерять ширину спектра, получаемого в призмах из различных сортов стекла. Но здесь он убедился, что чисто условная градация спектральных цветов, введённая Ньютоном, не даёт возможности получить определённые количественные результаты. Экспериментируя с различными источниками света, Фраунгофер заметил, что в спектрах пламени спирта и масла, при введении в пламя небольшого количества соли, получается резко очерченная светлая полоса (Фраунгофер применял щель) в жёлтой части спектра, занимающая неизменное положение в спектре.

Этой линией он и воспользовался для определения положения различных участков спектра и измерений дисперсии.

В дальнейшем Фраунгофер осуществил первую спектроскопическую установку. Солнечный свет падал через узкую щель в ставне на призму, поставленную на расстоянии 24 футов от щели. Призма была поставлена перед объективом зрительной трубы теодолита, и таким образом Фраунгофер впервые наблюдал субъективно спектр, не проектируя его на экран. Он обнаружил, что спектр солнечного света имеет большое количество тёмных линий, которых он насчитал до 700. Важнейшие из них он обозначил буквами, это линии: *A* — на краю красной части, широкая, трудно наблюдаемая линия, *B* — в красной части, *C* — в оранжевой, *D* — жёлтая, *E* — зелёная, *F* — голубая, *G* — синяя, *H* — на краю видимого фиолетового конца. Фраунгофер с величайшей тщательностью нанес на рисунок положение 574 линий, наблюдаемых им между линиями *B* и *H*, и измерил с помощью теодолита их взаимное расстояние в спектре.

Далее Фраунгофер убедился, что эти линии являются принадлежностью солнечного света, так как в спектрах искусственных источников таких линий не наблюдается, но зато в спектре натрия он нашёл жёлтую линию, положение которой совпадает с тёмной линией *D*. Светлые линии были найдены им и в спектре электрической искры, особенно одна блестящая в зелёном участке. Тёмные линии Фраунгофер нашёл в спектре Венеры, Сириуса и других светил, причём положение их в спектре оказалось отличным от положения линий в солнечном спектре. Эти наблюдения Фраунгофера были опубликованы в 1814—1815 гг.

В 1821—1822 гг. он опубликовал свои исследования дифракционных спектров. Сначала Фраунгофер наблюдал на экране спектры от узкой щели, а затем и от решётки. Решётки Фраунгофер изготовлял, наматывая очень тонкую проволоку на ходы тонкого витка или прорезывая тонкие параллельные линии в золотом листике, наклеенном на стекло. Таким путём Фраунгофер получал решётки с расстоянием между щелями (постоянная решётки) 0,00114 дюйма. В дальнейшем Фраунгофер перешёл к другому способу изготовления решёток путём нанесения алмазных штрихов на стекло. Таким способом он получил решётки с периодом, равным 0,0001223 дюйма.

С помощью таких решёток Фраунгофер наблюдал широкие дифракционные спектры (он называл их спектрами второго класса) и убедился, что в этих спектрах линии так же расположены по отношению друг к другу, как и в призматических. Теперь Фраунгофер мог продолжить исследования Юнга и Френеля в том отношении, чтобы с большей определённости промерить длины волн, соответствующие отдельным линиям спектра. Ниже в таблице приведены длины некоторых волн, измеренные Фраунгофером. Дисперсия для различных веществ могла быть определена по разности показателей для крайних линий (линия А трудно наблюдаема). Эта величина называется *полной дисперсией*. Например:

Линия	Длина волн в дюймах
C	0,00002422
D	0,00002175
E	0,00001945
G	0,00001794
F	0,00001517
H	0,00001464

Кронглас № 9 $n_H - n_B = 0,020727$

Терпентин » » $= 0,023378$

Флинтглас № 3 » » $= 0,043313$

Номера введены Фраунгофером для обозначения различных сортов стекла. Наблюдения Фраунгофера продолжили Гершель, Тальбот, Брюстер. Гершель в наблюдениях, опубликованных в 1822, 1827, 1829 гг., описывает спектры различных пламен. Он описывает полосатый спектр газообразного циана, особенность спектра стронция, калия. Тальбот в 1834 г. указывает, что спектр пламени стронция и лития отличаются друг от друга.

«Поэтому, — заключает он, — я, не колеблясь, утверждаю, что оптический анализ даёт возможность различать мельчайшие количества этих веществ с такою же точностью, как любой из известных способов». Брюстер в 1832 г. показал, что тёмные линии Фраунгофера можно получить искусственно. Он наблюдал их в спектре света, пропущенного через пары азотной кислоты. Брюстер насчитал их, так же как и в солнечном спектре, более 2000 и высказал убеждение, что эти тёмные линии в солнечном спектре обязаны своим происхождением поглощению света атмосферой Земли и, вероятно, Солнца. Уитстон в 1835 г. показал, что спектр электрических искр между различными металлами зависит от природы металла.

Несмотря на такие ясные указания, время для спектрального анализа ещё не настало. Слишком слаба ещё была оптика, чтобы практики-химики могли довериться новому методу. Сам Брюстер воспользовался открытием Фраунгофера для выпада против волновой теории, а ведь надёжные про-

меры длины волн составляют основу спектрального анализа. Понятно, что оптика после Фраунгофера развивалась, главным образом, в направлении укрепления своих основ и в совершенствовании инструментальной техники.

В 1845 г. лондонский химик Миллер исследовал спектры поглощения и испускания пламен, окрашенных различными металлическими солями. Он описал и дал изображение спектров хлористой меди, борной кислоты, азотнокислого стронция, поваренной соли и хлористого бария. Миллер не пришёл, однако, к определённым выводам о связи между лучеиспускательной и поглощательной способностями тел, а также о возможности химического анализа по спектрам. Самый способ возбуждения спектров (растворение в спирте, питающем пламя спиртовой лампы, соответствующих солей) не давал возможности получать отчетливую картину.

Но обнаруженное им тождество двойной светлой линии в пламени поваренной соли и двойной тёмной линии *D* в солнечном спектре дали повод В. Томсону заметить в беседе со Стоксом о наличии связи между испусканием и поглощением. Стокс согласился с этим и даже высказал идею оптического резонанса паров натрия. Однако эти мысли не были ни развиты, ни опубликованы, и о них стало известно лишь по письму В. Томсона к Кирхгофу, написанному после открытия последних вместе с Бунзеном спектрального анализа.

Сван в 1854 г. также доказал тождество светлой линии *D* с линией натрия и твёрдо установил, что эта линия характеризует присутствие натрия даже в количестве $2/100000$ грана в пламени. Для остальных спектров (он исследовал углеводороды) он не обнаружил совпадения светлых линий с линиями поглощения.

Более определённые результаты дало исследование спектров, возбуждённых электрическим путём. Фуко в 1849 г. установил, что светлая, двойная линия в дуговом пламени совпадает с линией *D*. Ангстрем в 1855 г., исследуя электрические спектры металлов, установил, что химические соединения металлов дают те же линии, что и сами металлы.

Он же высказал мысль, что «тело в раскалённом состоянии должно излучать как раз все те лучи, которые оно при обыкновенном состоянии поглощает».

Особенно важное значение для последующего развития спектроскопии имели работы Плюккера (1801—1868). Математику и физику Плюккеру принадлежат серьёзные заслуги в исследовании газового разряда. После Фарадея экспериментальная физика дала только словестную форму разряда (Абрие, 1843; Ке, 1852; Грове, 1852).

Плюккер работал с трубками стеклoduва Гейслера, которые по его, Плюккера, предложению и получили в дальнейшем название трубок Гейслера. Для целей спектроскопического исследования Плюккер вытягивал гейслеровы трубки в капилляры. Он установил в 1857 г., что спектр электрического разряда совершенно определённо характеризует природу газа, заключённого в трубке, и в частности открыл первые три линии в спектре водорода. В 1864 г. Плюккер вместе со своим учеником Гитторфом, продолжившим исследование газового разряда после его смерти и опубликовавшим в 1869 г. большое исследование «Об электропроводности газов», содержащее первые наблюдения над катодными лучами, получил более точные результаты и установил наличие двух родов спектров: полосатых и линейчатых (Плюккер назвал полосатые спектры — спектрами первого порядка, линейчатые — спектрами второго порядка).

Однако современники не оценили в должной мере значения этих исследований. Развитие спектрального анализа началось Кирхгофом¹ и Бунзеном.

Первое сообщение по этому вопросу, сделанное Кирхгофом, появилось в печати в 1859 г. Сообщение называется «О фраунгоферовых линиях» и очень кратко излагает существо открытия.

«Во время совместного с Бунзеном исследования спектров окрашенных пламен, давшего нам возможность узнавать качественный состав сложных смесей по внешнему виду их спектров в пламени наильной трубки, я произвел несколько наблюдений, которые приводят к неожиданному заключению *о происхождении фраунгоферовых линий* и дают возможность судить *о материальном составе атмосферы Солнца*, а, может быть, и *наиболее светлых неподвижных звезд*».

«... Из этих наблюдений я заключаю, что цветные пламена, в спектрах которых встречаются светлые, резкие линии известного цвета, до такой степени ослабляют проходящие через них лучи того же цвета, что на месте светлых линий выступают темные, как только позади пламени ставят достаточно сильный источник света, в спектре которого эти линии отсутствуют. Далее я заключаю, что темные линии солнечного спектра, которые вызываються не земной атмосферой, возникают вследствие присутствия в раскалённой атмосфере солнца таких веществ, которые в спектре пламени дают на том же месте светлые линии».

Это сообщение появилось в октябре, а в декабре того же года в статье «О связи между изучением и поглощением света и теплоты» Кирхгоф формулирует закон: «Для лучей одной и той же волны, при одной и той же температуре, отношение лучеиспускательной способности к поглощательной для всех тел одинаково». Этот закон Кирхгофа, положивший начало теории чёрного излучения, был строго обоснован им в 1861 г.

С другой стороны, в совместной работе «Химический анализ с помощью спектральных наблюдений» Кирхгоф и Бунзен устанавливают, «что ни различие форм соединений, в которых применены металлы, ни разнообразие химических процессов в отдельных пламенах, ни громадное различие температур этих пламен несколько не влияют на положение спектральных линий, соответствующих отдельным металлам».

Так наступила эра спектрального анализа, эра спектроскопии. Уже в этой работе они доказали существование нового металла — цезия. В следующем году Бунзен открыл рубидий, Крукс нашёл таллий, в 1862 г. Рейх и Рихтер нашли индий и далее последовали другие открытия.

Эти успехи, разумеется, стимулировали усовершенствование спектроскопической техники. В 1861 г. Кирхгоф и Бунзен прибавили к спектроскопу третью трубку со шкалой. В целях повышения разрешающей способности Кирхгоф сконструировал спектроскоп с четырьмя флинтгласовыми призмами, а Кук в 1863 г. изготовил спектроскоп с девятью призмами с сероуглеродом.

Выкристаллизовалась и идея о химических атомах как колебательных системах. Стокс в 1860 г. назвал закон Кирхгофа оптическим резонансом, а Ангстрем (1814—1874) утверждал, что идею резонанса он выразил уже в упомянутой нами работе 1855 г. В 1862 г. Ле-Ру нашёл *аномальную дисперсию* в парах йода.

¹ Густав Кирхгоф родился в Кёнигсберге в 1824 г. В 1848 г. защитил в Берлине диссертацию, где был после этого приват-доцентом, с 1850 по 1854 г. — экстраординарный профессор в Бреславле, откуда химик Бунзен (1811—1899) увлёк его с собой в Гейдельберг. С 1875 г. Кирхгоф — член Берлинской академии. Умер Кирхгоф в 1887 г.

Так подготавливалась почва для будущих моделей квазиупругого вибратора — атома, для электронной теории, для новой атомистики.

Дальнейшие
успехи
экспериментальной
волновой оптики.

Итак, явление дисперсии в конечном счёте послужило успеху волновых представлений в оптике, хотя впереди намечались и большие трудности в связи с объяснением происхождения спектров. С другой стороны, основные положения оптики Френеля — Юнга получили всё большее подтверждение и развитие в тех областях оптических явлений, которым они обязаны были своим происхождением.

Основные интерференционные опыты Френеля и Юнга, как известно, относятся к классу тех интерференционных явлений, которые локализованы в пространстве; точки, в которых происходит погашение света или усиление интенсивности, лежат на гиперболах с фокусами в источниках.

Новые видоизменения этих основных экспериментов принадлежат Ллойду (1834), Билле (1858). В опыте Ллойда интерференция происходит от источника S , расположенного в плоскости, весьма близкой к плоскости зеркала, и его изображения в этом зеркале S' . Таким образом, прямые пучки интерферируют с отражёнными. Так как здесь будет наблюдаться только одна половина интерференционной картины, то, чтобы сделать видимой центральную часть, помещают на пути прямых лучей пластинку, вызывающую смещение интерференционной картины. Центральная линия, как это и следует из теории Юнга о потере полуволны, при отражении оказывается чёрной.

Значительно продвинулось изучение того класса явлений, с которого и началось изучение интерференции, а именно цветов тонких пластинок. Пуассон в 1823 г. указал, что необходимо учитывать при расчёте интерференционной картины многократные отражения луча внутри пластины. Расчёт был им проведён для случая, когда разность ходов равна целому числу полуволн. Эри в 1834 г. разобрал общий случай. Если амплитуда падающей волны 1, амплитуда волны, отражённой от первой поверхности a , амплитуда волны, преломлённой при переходе от среды в пластинку b , a' — доля отражённой волны при отражении из второй поверхности, b' — доля преломлённой волны при переходе из пластинки в среду, δ — запаздывание фазы луча, испытавшего одно внутреннее отражение относительно первого отражённого луча. Тогда для амплитуды суммарного колебания в отражённом свете получается выражение

$$A^2 = \frac{4a^2}{1 - 2a^2 \cos \delta + a^4} \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2},$$

при этом принимается во внимание:

$$a + a' = 0; \quad a^2 + b^2 = 1; \quad bb' = 1 - a'^2.$$

Эти выражения получаются из общей формулы, если положить толщину пластинки, равной нулю; первое из них выражает закон Араго о равенстве коэффициента отражения при переходе из первой среды во вторую, и наоборот, и закон Юнга об изменении фазы при отражении от более плотной среды.

Позднее (1849) Стокс вывел эти соотношения, пользуясь принципом обратимости. При этом Стокс пытался обобщить свой вывод и на общий случай изменения фазы (а не только юнговское изменение на π), но полу-

ченные им формулы для интенсивности не привели к правильным результатам для тонких пластинок.

Однако эти формулы Пуассона — Эри находятся в большем соответствии не с случаем колец Ньютона и аналогичных ему случаев, так называемых линий равной толщины, а с открытым позднее Гейдингером (1855) явлением *линий равного наклона*. Эти

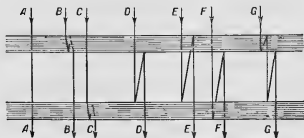


Рис. 243. Полосы Брюстера.

линии наблюдаются на строго плоскопараллельных пластинках при аккомодации глаза на бесконечность. Гейдингер наблюдал их на пластинке слюды толщиной 0,2 мм, освещённой пламенем натрия. Проверить наблюдения Гейдингера было нелегко, и линии равного наклона были вновь открыты Луммером в 1884 г.

В 1817 г. Брюстер наблюдал интерференцию от двух плоскопараллельных пластинок, наклонённых под малым углом друг к другу. Видоизменение этого эксперимента представляет установка Жамена (1857) — интерферометр Жамена. Эта установка открывала возможность применения интерференции для точных измерений (показателя преломления газов и др.).

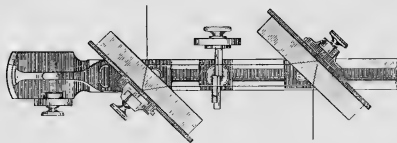


Рис. 244. Интерферометр Жамена.

Опыты Юнга и Френеля проводились с белым светом, что приводило к крайнему ограничению картины (до десятка полос) и не давало возможности точного измерения длины волн.

Брюстер (1828), применяя освещение спиртовой лампой с натрием, наблюдал всё поле, покрытое полосами. Физо и Фуко исследовали предельное число интерференционных полос в однородном свете, или, что то же самое, предельную разность хода. Метод, которым они пользовались, заключался в следующем.

Система зеркал Френеля освещалась источником *белого* света. На экране наблюдалась интерференционная картина, в экране была щель, пучок лучей, выходивший из щели, падал на призму, причём щель устанавливалась на центральную белую полосу, так что на призму падал узкий пучок белого света, который развёртывался в спектр. Затем одно из зеркал передвигалось вперёд параллельно самому себе. Когда разность хода достигла полуволны фиолетового света, в фиолетовой части со спектра появилась тёмная линия, которая при дальнейшем перемещении зеркала начала сбегать к красной части, затем в фиолетовой части появлялась вторая, затем третья и т. д.

Физо и Фуко насчитали таким путём до 4000 полос, прошедших через красную часть спектра (1849). В следующем году, экспериментируя с толстыми пластинками, они получили предельную разность хода в 7394 длин волн. «Наличие этих явлений взаимного влияния двух лучей в случае большой разности хода интересно для теории света, поскольку оно выделяет в излучении последовательных волн неизменную регулярность, какой до сих пор не обнаружилось ни одно явление» («Ann. de chimie et de physique», XXX, 146, 1850).

В 1863 г. Физо экспериментировал с кольцами Ньютона, причём установка освещалась натриевым светом. Линзу в этой установке можно было медленно перемещать параллельно горизонтальной пластинке. Вследствие такого перемещения кольца сжимались к центру, где и исчезали. Физо считал число исчезающих колец. Когда прошло 500 колец, интерференционная картина исчезла. Однако при дальнейшем перемещении она вновь появилась, и когда прошло 1000 колец, достигла прежней резкости. При 1500 кольцах она снова исчезла и т. д. Этот опыт дал возможность Физо установить, что 1) интерференция ещё возможна при разности ходов 50000 λ натриевого света и 2) свет натрия неоднороден, а состоит из двух сортов лучей, коим соответствуют длины волн λ_1 и λ_2 , причём приблизительно $1001 \lambda_1 = 1000 \lambda_2$ и $500 \lambda_2 = 500 \lambda_1 + \frac{1}{2} \lambda_1$.

Так обнаружилась высокая разрешающая способность интерференционных установок, которая впоследствии была использована в интерференционных спектроскопах.

Таким образом, и интерференционные опыты, и решётки Фраунгофера¹, и спектроскопы Булзена — Кирхгофа способствовали укреплению фундамента волновой теории, доставляя средства всё более надёжного и точного определения длин волн. С другой стороны, развитие кристаллооптики и исследование явлений отражения и преломления давали твёрдое доказательство поперечности световых волн. Были созданы аппараты, позволяющие анализировать и измерить поляризацию лучей. Вместе с тем оптический анализ стал оказывать серьёзные услуги кристаллографии. Зеркало и стеклянная стопа были первыми поляризаторами и анализаторами в аппарате Био (1814) и Нёрренберга (1833).

В 1828—1840 гг. появились описания исследований с призмой Николя, которая и поныне является наиболее совершенным поляризатором и называется по имени её изобретателя николем.

Эти приборы и используются в полярископах и поляриметрах. Они дают возможность однозначно определить, поляризован ли линейно данный пучок света, и установить направление плоскости поляризации. Можно также определить в пучке с частичной поляризацией долю поляризованных лучей и определить направление их плоскости поляризации. Таковы полярископы Араго, Желле, Савара.

Для более точного фиксирования плоскости поляризации применяются конструктивные видоизменения поляризационных устройств (например, в «полутеневых» поляриметрах Желле разрезается призма Николя).

Приведём в качестве примера подобных устройств, относящихся к рассматриваемому нами периоду, поляриметр Савара (1840). В этом поляриметре основной частью является пластинка Савара. Пластинка Савара представляет собой две кварцевые пластинки, вырезанные под углом 45° к оптической оси и сложенные так, что плоскости их главных сечений

¹ Волновую теорию решётки дал в 1835 г. Шверд. Бабинё ещё в 1829 г., основываясь на свойствах решётки, предложил выбрать длину волны как естественную, неизменяемую единицу длины.

взаимно перпендикулярны. Если на такую пластинку падает пучок лучей, содержащий примесь линейно-поляризованных лучей, то при рассматривании через николь будут наблюдаться полосы *хроматической поляризации*. Этих полос не будет видно только в том случае, если пучок, входящий в прибор, не поляризован или поляризован по кругу. Прибор обладает высокой чувствительностью.

Полярископы не дают возможности определить характер поляризации. Установить, является свет естественным или круговым, частично поляризованным или поляризованным эллиптически, можно только с помощью дополнительных приспособлений, позволяющих обнаружить *фазовые соотношения между компонентами*.



Рис. 245. Компенсатор Бабинье.

Рассмотренный нами в X главе ромб Френеля даёт возможность проверки таких соотношений. Аналогично ромбу будет действовать так называемая пластинка четверть волны ($1/4\lambda$), вырезанная из одноосного кристалла параллельно оптической оси и толщина которой подобрана таким образом, что разность фаз обыкновенного и необыкновенного луча по выходе из пластинки равна $\frac{\pi}{2}$.

Пластинка Савара принадлежит к числу пластинок, изменяющих разность фаз между компонентами. Приспособления, позволяющие менять разность фаз между компонентами, называются *компенсаторами*. Компенсатор Б а б и н ь е (1794—1872) состоит из двух кварцевых призматических пластинок с весьма малым преломляющим углом. Обе пластинки вырезаны параллельно оси, но в одной ось параллельна преломляющему ребру, во второй перпендикулярна; таким образом, плоскости главного сечения обеих пластинок взаимно перпендикулярны. При симметричном положении пластин разность фаз в центральной части между обыкновенным и необыкновенным лучом равна нулю. Смещая при помощи винта одну пластину вдоль другой, мы вводим разность фаз, определяемую разностью толщин пластин в центральной части.

Браве (1855) сконструировал компенсатор, представляющий комбинацию двух компенсаторов Бабинье, расположенных антипараллельно друг другу.

Теперь оптика располагала средствами полного анализа света. В частности, весьма важно было исследовать поляризацию света при отражении. Согласно формулам Френеля, линейно-поляризованный свет после отражения оставался линейно-поляризованным. При угле Брюстера естественный свет превращается в линейно-поляризованный. Эри в 1833 г. нашёл, что эти соотношения не выполняются точно для сильно преломляющих сред, как, например, алмаза.

Жамен в ряде исследований, продолжавшихся с 1845 по 1851 г., показал, что при отражении возникает, как правило, некоторая разность

фаз и, следовательно, линейно-поляризованный свет превращается в эллиптически поляризованный. Только для $n = 1,42$ формулы Френеля приблизительно удовлетворяются. Если $n > 1,45$, то луч, поляризованный в плоскости падения, отстаёт от луча, поляризованного в перпендикулярной плоскости, при $n < 1,40$ соотношение будет обратным.

Особенно сильная эллиптичность наблюдается при отражении от металлических поверхностей. Ещё Маллос заметил, что отражением от металлических поверхностей нельзя получить полной поляризации. При некотором угле падения i степень поляризации наибольшая. Этот угол называется главным углом падения (для стали $i = 75^\circ$, серебра 73° , ртути 78° и т. д.), величина этого угла зависит от длины волны падающего света.

При главном угле падения разность фаз между обоими компонентами светового вектора достигает 90° . Эллиптическую поляризацию при отражении исследовал Бабинс (1838), позже (1867) Квинке. Стокс (1853) связал сильную отражательную способность металлов с их поглощательной способностью. Анилиновые краски с металлическим блеском отражают те лучи, для которых они наименее прозрачны.

Полярископы нашли себе применение и в фотометрии. В 1853 г. появился поляризационный фотометр Бабинс, через три года фотометр Вильда, а в 1861 г. — поляризационный фотометр Цельнера для астрофотометрии. Мы не будем, однако, останавливаться на описаниях этих приборов, ограничимся только воспроизведением схемы фотометра Вильда.

Успехи поляриметрии нашли применение и в приложениях. Мы уже говорили о кристаллографии, где, начиная со сконструированного в 1844 г. Ампиа прибора, большое значение приобретают *поляризационные микроскопы*.

Развилась и *сахариметрия*. Сахариметры Био (1840) и Митчерлиха (1844), в которых трубка с испытуемым раствором помещалась между двумя скрещёнными николями, не давали точных результатов. Более надёжными оказались сахариметры Солейля (1845), Желле (1860) и Вильда (1864).

В сахариметре Солейля применяется бикварц, т. е. пластинка, сложенная из двух полупластинок кварца одинаковой толщины, из которых одна вращает свет влево, другая вправо. Компенсирующее устройство состоит из пластинки кварца, вращающего вправо, и двух кварцевых клинообразных пластинок, вращающих влево. В сахариметре Желле для точного установления направления плоскости поляризации служит полирискон, в сахариметре Вильда — пластинка Савара.

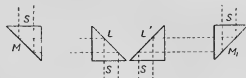
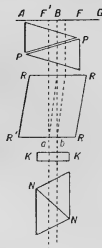


Рис. 246. Фотометр Вильда

Исследования
люминесценции.
Фотохимия.

Значительные достижения волновой оптики обеспечили возможность углублённого изучения загадочных явлений люминесценции и фотохимии. Волновая теория рассматривает свет как форму движения; закон сохранения энергии учёт о неразрушимости и взаимной превратимости форм энергии. Таким образом, становилось понятным, что в этих явлениях происходит количественно определённое превращение световой энергии в световую же энергию другого качества или химическую энергию. Это давало опорный пункт для более точного подхода к явлению, но всё же, как оказалось, удовлетворительного представления о механизме явления составить было невозможно.

Флюоресценция была известна ещё в XVI в. В 1570 г. испанский врач Николо Монардес описал свойство настойки нефритового (почечного) дерева светиться в проходящем свете золотисто-жёлтым светом, а в отражённом голубым. Перевод его книжки вышел в Венеции в 1575 г. Анастас Кирхер в своём сочинении «Великое искусство света и тени» (1646) описывает свечение воды в кубке, сделанном из нефритового дерева, если вода долго стояла в этом кубке.

Свечением этой настойки занимались Бойль, Гримальди, Гук и сам Ньютон. Ньютон приписывал цвета настойки свойству тел отражать лучи, дополнительные поглощённым. Но он сделал важное заключение о *тушении* флюоресценции: «у тел есть не только способность отражать или пропускать лучи, но и тушить их, полагая им в себе конец» («в... вытяжке нефритового дерева... голубой цвет разрушается солями кислот»).

После Ньютона к явлениям флюоресценции обратился только Гёте — великий поэт и известный противник ньютоновской теории цветов. Гёте указывает, что он приготовил по способу химика Деберейнера вытяжку из дерева *каси*, обладающую свойствами эскулина (нефритовой вытяжки). В дополнение к этому Гёте сам приготовил настойку свежей коры дикого каштана, приобретающую лазоревый цвет, если её рассматривать на тёмном фоне в отражённом свете, и жёлтый, при рассмотрении в проходящем.

Брюстер в 1833 г. наблюдал флюоресценцию хлорофилла, а в 1838 г. плавикового шпата (флюорита). В 1845 г. изучением флюоресценции занялся Джон Гершель, астроном, сын знаменитого Вильяма. Гершель нашёл, что в ряде веществ (серпистый хитин, эскулин, калопен, зелёный плавиковый шпат) при освещении возбуждается вблизи поверхности тела свечение, наблюдаемое сбоку. Гершель считал это свечение особым видом дисперсии, проявляющейся на поверхности тел, которую он назвал поэтому эпиопической (поверхностной) дисперсией.

Брюстер возобновил в следующем 1846 г. свои исследования и показал, что свечение идёт изнутри тела. С помощью сильной линзы Брюстер концентрировал пучок солнечного света внутри стакана, содержащего раствор сернистого хитина. Оказалось, что голубоватый свет испускается не только поверхностью, но и более глубокими слоями. Ввиду этого Брюстер назвал явление «внутренней дисперсией».

Наиболее существенные результаты дали исследования Стокса¹, проведённые им в период 1851—1862 гг. Получив с помощью трёх призм широкий чистый спектр, Стокс помещал в различные участки спектра трубочку с испытуемым веществом. Оказалось, что трубочка в области от красных до фиолетовых лучей не светилась, а в фиолетовой части и ультрафиолетовой светилась ярким голубым светом.

¹ Джордж Габриэль Стокс (1819—1903) — профессор физики в Кембридже, где в течение ряда лет занимал знаменитую Лукасовскую кафедру Ньютона, был президентом Королевского общества.

«Внутренняя дисперсия даёт физикам глаза, чтобы увидеть невидимые лучи», — заключил Стокс. Флюоресценцию прозрачных веществ, например уранового стекла, можно обнаружить таким способом. На белом экране получают спектр, перед экраном вдоль всей полосы спектра проводят кубик уранового стекла. В тех участках спектра, в которых кубик не флюоресцирует, тени в спектре не получается, наоборот, на участках флюоресценции получается резкая тень от кубика и сам кубик флюоресцирует яркозелёным светом. Таким образом, флюоресценция связана с поглощением лучистой энергии.

Чувствительный метод наблюдения флюоресценции, также предложенный Стоксом, заключался в следующем. Две пластинки, окрашенные в дополнительные цвета (у Стокса одна составлена из двух сложенных кобальтовых стекол — светлоголубого и тёмнофиолетового, другая — слабожёлтое стекло), располагаются в следующем порядке: источник света — 1-я пластинка — испытуемое тело — 2-я пластинка — глаз. Если тело не флюоресцирует, то глаз света не видит. Если же тело флюоресцирует, то оно может испускать лучи, которые 2-я пластинка не задержит, и тогда глаз увидит свет. Таким путём Стокс пришёл к выводу, что флюоресценция, вероятно — не исключительное явление.

Он обнаружил слабую флюоресценцию у белой бумаги, кости, человеческой кожи, в раковинах, в различных сортах бесцветного стекла. Стокс предложил отказаться от термина «внутренняя дисперсия», как вызывающего определённые, гипотетические представления о природе явления, и ввёл новый термин «флюоресценция», от слова флюорит — плавиковый шпат.

Важнейшим итогом исследований Стокса явилось установление принципа, известного под названием закона или правила Стокса. «Внутренняя дисперсия подчиняется некоторому закону, который, по видимому, является общим, а именно, что *если при дисперсии преломляемость света изменяется, то это изменение всегда происходит в сторону понижения*».

Вокруг этого закона, уже вскоре после его опубликования, разгорелась дискуссия; основные возражения принадлежали Ломмелю, работы которого относятся к следующему периоду. Разрешение загадки явления вообще выпало на долю современной физики.

Фосфоресценция рассматривалась в то время, как класс явлений, принадлежащих к так называемой фотолюминесценции, и отличающийся от флюоресценции запаздыванием. Уже в конце этого периода возникло сравнение фосфоресценции с упругим последствием. Эту концепцию в конце XIX в. развивал русский физик Н. А. Гезехус в своей диссертации «Об упругом последствии».

Явления фосфоресценции начали исследоваться с XVII в. Открытие фосфоресценции связывается с именем болонского сапожника Виченцо Каскароло, который (в период 1502—1604 гг. — точная дата неизвестна), накалив кусок тяжёлого шпата, заметил его слабое свечение в темноте. Болонский камень, флюоресценция, свечение ртути в торическисовой пустоте привлекли внимание. Первые попытки теоретического истолкования фосфоресценции принадлежат Эйлеру и Гретгуеу.

Первый предложил теорию, которую можно назвать прообразом резонансной теории, второй связал механизм фосфоресценции с диссоциацией молекул и их обратной рекомбинацией; эту теорию, не без известной натяжки, конечно, можно назвать прообразом будущей теории Левара.

Как мы уже упоминали, русский физик В. В. Петров производил в 1799—1818 гг. изучение фосфоресценции флюорита и, по существу, начал важную работу по изучению люминесфоров. Петров отделил фосфоресценцию от хемилумесценции, рассматривал последнюю как результат медленного

сгорания. Поэтому современная отрасль физики и техники, занимающаяся явлениями люминесценции, с полным правом причисляет имя Петрова к числу основоположников этой ветви физической науки.

Понятно, что таинственное фосфоресцирующее излучение пытались как-то связать «с известным» температурным излучением. Вполне логичными были поэтому попытки автора «Истории умственного развития Европы» Дрэпера (1811—1882) изучить свечение нагретых тел и фосфоресцирующих. Поставленные в 1847 г. опыты Дрэпера показали, что при нагревании куска извести, мрамора, плавленого шпата, меди, сурьмы, свинца, пластин кокса свечение начинается приблизительно при одной и той же температуре 525°C . Что же касается его попытки установить законы

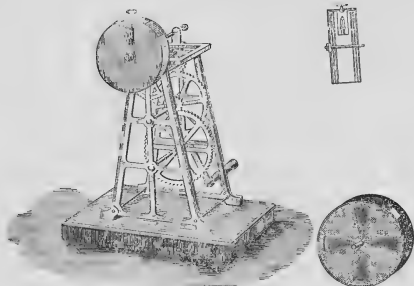


Рис. 247. Фосфороскоп Беккереля.

фосфоресцирующего свечения, то хотя он и сделал семь заключений, однако ничего определённого в этих выводах не заключалось.

В текущий период решающий шаг был сделан Эдмондом Беккерелем (1820—1894).

Исследования Беккереля начались с 1839 г. описанием фосфороскопа, и важнейшие результаты были опубликованы в 1859 г.; все же работы были собраны в двухтомном труде «Свет, его причины и действия», вышедшем в 1867—1868 гг.

Фосфороскоп Беккереля представляет два диска с секторными вырезами. Диски посажены на общую ось так, что вырезы одного совпадают с центрами сплошных частей другого. Диски помещены внутри круглой коробки с двойными стенками, в каждой из этих стенок вырезано небольшое отверстие, причём все четыре отверстия приходится друг против друга.

Испытуемое тело помещается в специальном держателе, в коробке между дисками. Ось дисков приводится в быстрое вращение с помощью зубчатой передачи. Тело будет освещаться всякий раз, когда вырез переднего диска будет проходить мимо отверстия в задней стенке коробки. Освещение длится $\frac{1}{16}$ времени оборота диска, столько же времени длится и наблюдение. Если продолжительность фосфоресценции не меньше этого времени, то наблюдатель при достаточно быстром вращении будет видеть тело непрерывно светящимся.

Таким путём удалось открыть много новых фосфоров. Для фотолюминесценции Беккерель установил следующие положения:

1) Наиболее активными облучателями являются источники фиолетового и ультрафиолетового света.

2) Для каждого вещества характерна своя спектральная область облучателя.

3) Спектр фосфоресцирующего вещества зависит от свойств последнего и не находится ни в какой связи со спектром облучателя.

4) Фосфоресценцию, вызванную фиолетовыми лучами, можно погасить более длинноволновыми частями спектра. Условия освещенности, нагревания и т. д. влияют на фосфоресценцию, так что она может быть и погашена и вновь возбуждена. Беккерель дал классификацию явлений фосфоресценции (люминесценции):

1) фосфоресценция от нагревания (алмаз, плавиковый шпат), 2) трибофосфоресценция (давление, разлом), 3) электрофосфоресценция, 4) спонтанная биофосфоресценция, 5) фотофосфоресценция.

Беккерель считал флюоресценцию — фосфоресценцией во время облучения.

Большие трудности для теоретического истолкования представляли и фотохимические процессы. Что свет играет важную роль в химических явлениях, было давно известно. Так, ещё в 1727 г. врач Шульце заметил почерпение мела, облитого раствором серебра в крепкой водке, в тех местах, которые подвергались освещению. Шееле в 1777 г. обнаружил побурение на свету крепкой азотной кислоты вследствие образования окислов азота.

Тот же Шееле в 1777 г. и Сенебье в 1782 г. исследовали разложение хлористого серебра на свету. Шарль



Дагерр.

пытался получить изображения силуэтов на бумаге, покрытой хлористым серебром. Веджвуд и Дэви (1802) пытались закрепить получаемые изображения (Дэви получал копии картины волшебного фонаря на стеклянной пластинке, покрытой азотнокислым серебром), однако эти попытки не увенчались успехом. Пьессе в письме своему брату от 8 мая 1816 г. сообщил, что ему удалось получить гелиографическое изображение на циановой пластинке.

Через десять лет он узнал, что Дагерр работает над той же проблемой. В 1829 г. они заключили товарищество для совместной разработки изобретения. Пьессе умер в 1833 г., а через два года Дагерр разработал свой способ, получивший название *дагерротипа*. Патент был приобретён французским правительством, и только 19 августа 1839 г. на заседании французской академии Араго сообщил о сущности изобретения.

Способ Дагерра основан на следующем химическом факте. Если слой серебра подвергнется действию какого-либо галоида (хлора, брома, йода), а затем освещался, то на местах, подвергавшихся освещению, осаждаются пары ртути, в атмосферу которых вносятся обрабатываемая пластинка.

Процесс фотографирования у Дагерра строится следующим образом. Медная посеребрённая пластинка подвергается действию паров йода. С помощью фотокамеры на ней получают изображение предмета. Далее

на ней осаждают пары ртути и обрабатывают жидкостью, растворяющей йодистое серебро.

В том же 1839 г. Тальбот описал способ получения фотоизображений на бумаге, а в 1848 г. Ньепс де С. Виктор стал изготавливать стеклянные негативы. В течение всего последующего периода техника фотографирования непрерывно улучшалась, а вместе с тем разрабатывались и области её научного применения (микрофотография, астрофотография, спектрографии).



Рис. 248. Первая фотография по способу Тальбота.

Но эти применения относятся уже к следующему периоду. Что же касается теоретических исследований химических действий света, то, как известно, они привели к открытию ультрафиолетовых лучей, которые так и назывались химическими. Была обнаружена различная активность разных участков спектра.

Исследования Дрэпера и, в особенности, начатые в 1855 г. исследования Бунзена и Роско над образованием газообразного хлористого водорода на свету подтвердили, что на химические действия затрачивается световая энергия. Для данного источника света фотохимическое действие пропорционально силе света источника, но отношение химической активности различных источников не совпадает с отношением их сил, сравненных по световому ощущению глаза.

Одним из важнейших результатов всех этих исследований было *расширение шхлы влч. лучистой энергии*. Опыты Стокса по флюоресценции продолжили область ультрафиолетового спектра $\lambda = 185 \mu\mu$. Дальнейшему продвижению мешала применяемая оптика.

Исследования Био (1839) показали, что поглощательная способность веществ в отношении всех трёх видов лучей: тепловых, световых и химических различна. Вещества, прозрачные для световых лучей, оказываются непрозрачными для тепловых или химических. А. Беккерель, вместе с Био и своим сыном, установил, что для химических лучей даже тёмный горный хрусталь прозрачнее стекла.

Исследования поглощательной способности веществ для инфракрасных лучей были проведены Меллони (1798—1854) с помощью термоэлектрического столбика, описанного Нобили в 1830 г. Меллони показал независимость теплопрозрачности от световой прозрачности. Особенно теплопрозрачна каменистая соль. В дальнейшем (1841) Меллони доказал, что тепловые лучи так же отражаются и преломляются, как и световые лучи. Форбе, а затем и Меллони получили поляризацию тепловых лучей как турмалином, так и отражением и преломлением.

Исследования Меллони были продолжены Кноблаухом (1820—1895). Он подтвердил и уточнил выводы Меллони, из которых одним из важнейших был вывод о многообразии тепловых лучей, испускаемых одним и тем же телом. Отсюда вытекала задача исследовать природу этих «тепловых цветов», определить их длины волн.

В 1847 г. Физо и Фуко опытом с френелевскими зеркалами и с хроматической поляризацией в тонких пластинках обнаружили в тепловых лучах такое же распределение как максимумов и минимумов, как и при интерференции световых лучей. Из этих интерференционных опытов они вычислили длины световых волн, оказавшиеся равными: $1,101 \cdot 10^{-3}$ мм, $1,96 \cdot 10^{-3}$ мм, $1,32 \cdot 10^{-3}$ мм, $1,443 \cdot 10^{-3}$ мм, $1,745 \cdot 10^{-3}$ мм, $1,9410^{-3}$ мм. Они же нашли дифракцию для тепловых лучей. Кноблаух в работах 1848 г. количественно измерял дифракцию и доказал поляризацию и двойное преломление тепловых лучей. Дессен и Провет обнаружили в 1849 г. магнитное вращение плоскости поляризации тепловых лучей, в том же году они доказали применимость закона Малюса к тепловым лучам и справедливость для них формул Френеля. Таким образом, область оптики была значительно расширена и из чисто-субъективного выделения её из класса других физических явлений выявилась новая объективная характеристика ее как учения о лучистой энергии.

Волновые представления в этом процессе эмансипации от субъективных, чувственных характеристик сыграли решающую роль.

Вместе с успехами экспериментальной оптики развивалась и оптика теоретическая. С одной стороны, стояла задача разработать математическую схему, описывающую оптические явления, с другой — открыть внутренний механизм этих явлений и связать разнообразные, изученные экспериментально факты единой точкой зрения.

Первая задача с успехом начала разрабатываться уже в XVIII в. на основе понятия *луча*. Геометрическая или лучевая оптика достигла в рассматриваемый период выдающихся результатов. Можно проследить три основных пути, по которым приходили к этим результатам. Прежде всего путь чисто геометрический, разрабатываемый блестящими геометрами XIX в.

Математическая проблема формулировалась как проблема преобразования лучков прямых в одном пространстве (пространстве объектов)

и пучки в другом сопряжённом пространстве (пространстве изображений). Таковы были, например, исследования Куммера (1859).

В качестве примера приведём некоторые теоремы, полученные в этом направлении. В 1808 г. Малюс доказал следующее предложение, носящее название «теоремы Малюса».

«В изотропных средах изогнутый пучок лучей, т. е. лучей, вышедших из одной точки или нормальный к одной и той же поверхности, остаётся после любого числа отражений или преломлений нормальным к одной и той же поверхности S ».

Вергонн в 1823 г. доказал теорему: «Любое число отражений и преломлений пучка лучей можно заменить одной операцией отражения или преломления, смотря по тому, будет ли конечная среда тождественна с первой или от неё отличной».

Задача практической оптики заключается в изготовлении оптических систем, дающих изображения без искажений. Таким образом, в идеальной оптической системе гомоцентрический пучок лучей должен преобразовываться в гомоцентрический же. Штурм в 1848 г. доказал астигматизм пучков. Он доказал, что, вообще говоря, бесконечно малый параллельный пучок лучей, вышедший из оптической системы, будет сходиться в двух фокальных линиях и что эти линии расположены в изотропной среде взаимно перпендикулярных плоскостях.

Гаусс в своих «Диоптрических исследованиях» (1846) пошёл по другому пути. Он рассматривал центрированную оптическую систему, у которой центры всех преломляющих и отражающих поверхностей лежат на одной прямой оптической оси. Изображения осуществляются с помощью тонких пучков, наклонённых под весьма малыми углами к оптической оси (параксиальные лучи).

Гауссова теория параксиальных лучей и составляет другое направление геометрической оптики. Центрированная оптическая система, по Гауссу, характеризуется четырьмя *кардинальными точками* и соответствующими им четырьмя *кардинальными плоскостями*. Это так называемые *фокальные* и *главные точки* и *фокальные* и *главные плоскости*.

Третье направление — это направление Гамильтона, о работах которого и о развитии им аналогии между геометрической оптикой и механикой мы уже коротко говорили. Основную роль в расчётах Гамильтона играет «характеристическая функция»

$$W = \int_{r_0(x_0, y_0, z_0)}^{r(x, y, z)} v ds,$$

для которой справедливо дифференциальное уравнение в частных производных

$$\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)^2 = n^2;$$

$n = n(x, y, z)$ — заданный показатель преломления. В дальнейшем, по предложению астронома Брунса, функция W получила название «*эйконоала*», а уравнение для неё — «уравнение эйконала». Как мы уже отмечали, идеи Гамильтона развития не получили.

Геометрическая лучевая оптика — это ньютоновская оптика. Между тем уже в этот период выяснилось (о чём мы скажем ниже) недостаточность чисто лучевых представлений для понимания действия оптических приборов. В рассматриваемый период возникла и бурно развивалась новая математическая схема: волновая кинематика Юнга—Френеля. Основной геометрический образ этой схемы — волновая поверхность, основной аналитический образ — волновое уравнение, исходный принцип — принцип Гюйгенса — Френеля.

Основная проблема для изотропной среды может быть сформулирована так: дано распределение источников и соответствующие граничные условия (диафрагма, экраны и т. д.), найти волновое движение в заданной точке пространства. Принцип Гюйгенса — Френеля позволяет заменить распределение источников некоторой граничной поверхностью, волновое состояние точек которых задаётся.

Впоследствии Кирхгоф показал, что одного задания волновой функции, как это было сделано в первоначальной теории Френеля, недостаточно для однозначного решения задачи. Надо задать ещё *скорость* изменения этой функции во всех точках поверхности и её нормальные производные. В этом случае ликвидируются такие недочёты гюйгенсовского принципа, как неправильная фаза и невозможность объяснения отсутствия обратной волны.

Тем не менее в руках математиков XIX в. и несовершенный принцип Гюйгенса — Френеля дал замечательные результаты. В разработке математических проблем волновой оптики большую роль сыграли такие работы, как «Дифракционные явления» Шверда (1835), «Колебательная теория света» Кнохенхауера (1839) и особенно исследования Эри и Стокса.

В общем виде проблема представляла непреодолимые математические трудности, поэтому разбирались частные задачи — задачи, относящиеся к типу явлений Фраунгофера. Рассматривалась дифракция от края экрана, прямоугольного отверстия, щели. Относящиеся сюда интегралы Френеля дискутировались и вычислялись в работах Кнохенхауера, Коши, Гильберта и других. Теорию круглого отверстия, которая приводит к бесселевым функциям, разрабатывали Эри, Шверд, Кнохенхауер, в дальнейшем Ламмель, Струве и другие.

Существенную помощь при решении дифракционных задач оказывал принцип, найденный в 1837 г. Бабином. Принцип этот выражает следующее. Представим себе, что волна перехватывается на своём пути экраном, открывающим только часть E её поверхности. Пусть далее имеются два экрана с отверстиями, с общей площадью соответственно E_1 и E_2 , так что

$$E = E_1 + E_2,$$

причём экраны располагаются так, что отверстие одного приходится против сплошной части другого. Такие экраны называются дополнительными. Тогда, если x — колебание, возбуждаемое в какой-либо точке P пространства при наличии одного экрана E , а x_1 — колебание, возбужденное в той же точке при наличии одного экрана E_1 , и x_2 — колебание при наличии экрана E_2 , то по принципу Бабины

$$x = x_1 + x_2.$$

Если, в частности, экран сплошной ($E = 0$), что практически имеет место, если точка P находится глубоко в геометрической тени экрана с малым отверстием, то для дополнительных экранов

$$x_1 + x_2 = 0,$$

а следовательно, интенсивность одинакова. Таким образом, распределение света в точках, достаточно удалённых от центра, для круглого отверстия и равного ему круглого экрана будут одинаковы.

Изучение дифракции от отверстий дало возможность глубже выникнуть в действия оптических приборов и в частности разобрать факт, с которым уже столкнулись практики. Так, В. Гершель уже в 1805 г. опубликовал

сделанное им раньше наблюдение, что в телескопе получается не точечное изображение звезды, а в виде диска, причём радиус этого кружка уменьшается с увеличением отверстия объектива, а сам кружок окаймлён радужными кольцами. Фраунгофер подтвердил это наблюдение и установил в 1823 г. закон обратной пропорциональности радиуса кружка от радиуса отверстия прибора и от цвета лучей, используемых для освещения. Таким образом, дифракция определяет такое качество оптических приборов, как их разрешающая способность, т. е. способность различать детали рассматриваемого объекта. Термин «разрешающая способность» и её оценка наименьшим углом, при котором ещё разделяются два близких объекта, был введён Дауэсом, который в 1856 г. исследовал телескопы. Классические исследования разрешающей способности зрительных труб провёл в 1858 г. Фуко. Фуко рассматривал в трубы различных диаметров и с разных расстояний листы бумаги с чёрными полосами и установил, что для каждой трубы имеется наименьший разрешающий угол α , не зависящий от её увеличения и обратно пропорциональный диаметру объектива. Формула зависимости для α , найденная экспериментально Дауэсом и Фуко, хорошо подтверждает теорию дифракции от отверстия.

Любопытной иллюстрацией роли практики в научном прогрессе служат эти факты. В астрономических приборах и зрительных трубах вопрос о разрешающей способности и её причинах был поставлен уже в первой половине XIX в. в то время как теория микроскопа дождалась Аббе и Гельмгольца.

Кинематическая волновая оптика с успехом применялась и в кристаллооптике. Мы уже отмечали такой выдающийся результат, как открытие конической рефракции. Это открытие стало возможным в результате глубокого изучения Гамильтоном формы френелевской волновой поверхности в двухосных кристаллах. Как оказалось, эта поверхность представляет собой частный случай, найденный в 60-х годах Куммером, поверхности 4-го порядка с 16 двойными точками и с таким же числом двойных плоскостей. Математики научились рассчитывать тонкие явления физической оптики.

Но эти успехи не могли удовлетворить физика. Чисто геометрическая схема не давала возможности определить тех количественных и качественных изменений, которые претерпевает световой поток, распространяясь в среде. Необходимо было дать *динамическую* теорию света. Базой для такой теории послужили результаты, достигнутые теорией упругости, на которых мы должны вкратце остановиться.

Основной закон теории упругости (*ut tensio, sic vis* — какое натяжение, такая сила) был найден в 1675 г. Гуком. Дейтели XVIII в.: Эйлер, Лернулли, Кулон — изучали упругие деформации стержней, деформацию изгиба, кручение. Юнг в 1807 г. определял экспериментально модуль упругости (коэффициент в законе Гука) для различных тел, вследствие чего этот коэффициент получил название «модуль Юнга». Юнг нашёл, что, кроме деформаций, растяжения и сжатия в твёрдых телах, может быть деформация, называемая им «сдвигом». Дальнейшие исследования упругости принадлежат Пуассону, Грину и особенно Навье (1785—1836) и Коши (1789—1836)¹.

¹ В дальнейшем экспериментальное исследование упругих констант составляет заслугу Бертгейма (его исследования продолжались с 1844 по 1860 гг.); Сен-Венан (1797—1886) изучал изгиб. Теоретические систематические обзоры даны Ламе («Лекции по теории упругости», 1852 г.), Клебшом («Теория упругости твёрдых тел», 1862 г.), Беером («Введение в математическую теорию упругости», 1869 г.).

Навье в 1821 г. вывел дифференциальные уравнения теории упругости для изотропной упругой среды. Однако уточнение основных понятий и математическое описание динамики упругой изотропной среды было дано в 1822 г. Коши и в 1827 г. было распространено им на случай анизотропной среды.

Коши дал обобщённую форму закона Гука. Упругая деформация в данном элементе объёма упругой среды характеризуется в данной точке и в данной системе координат шестью функциями, которые на современном языке являются составляющими тензора деформации (E_{xx} , E_{yy} , E_{zz} , E_{xy} , E_{xz} , E_{yz}) и которые составляются из частных производных смещений по координатам. В свою очередь силы натяжения, приложенные к границам выделенного объёма, также определяются шестью величинами, шестью составляющими тензора натяжения. Каждая из этих составляющих является линейной функцией составляющей деформации — в этом заключается обобщённая форма закона Гука, данная Коши. При выводе своих уравнений и Навье и Коши руководились молекулярными представлениями, однако в окончательных формулах среда рассматривалась сплошной, непрерывной.

Вот эти-то уравнения и следствия из них для идеально упругой среды и послужили исходным пунктом в построениях динамической теории эфира¹.

Первоначальная теория Френеля исходила из представления об абсолютно несжимаемом упругом эфире, в котором выполняется принцип живых сил. Упругость эфира в различных веществах одна и та же, но плотность различна. Переход от одной среды к другой совершается скачком, плотность меняется на конечную величину, на геометрической границе соприкасающихся сред. Предполагая колебания, параллельные поверхности раздела, непрерывными, Френель, как мы видели, нашёл выражения для амплитуд отражённой и преломлённой волн, которые были обобщены им и на случай полного отражения.

Предпосылки теории Френеля казались сомнительными. Теория упругости решительно не допускала возможности такого резкого перехода из одной среды в другую. Кроме того, отсутствие продольных волн, по крайней мере на границе, было несовместимо со свойствами механической упругой среды. Коши в ряде работ (1839, 1840, 1849) рассматривал эфир с вкрапленными в него молекулами и получил приведённую нами выше дисперсионную формулу.

Рассматривая пограничные условия, Коши отверг возможность скачкообразного перехода и допустил наличие переходного слоя, в котором колебания и их скорости меняются быстро, но непрерывно. Для случая колебаний, параллельных плоскости раздела, он получил формулу синусов Френеля. В случае колебаний, перпендикулярных плоскости раздела, Коши допустил существование волн сжатия, амплитуда которых убывает очень быстро с расстоянием от границы. Полученная им формула отличается от формулы тангенсов Френеля и находится в худшем согласии с опытом, хотя, с другой стороны, исследования Жамена приводили к выводу о наличии переходного слоя.

¹ Ламе в своих «Лекциях» так говорит о роли теории эфира в физике: «Существование некоторой эфирной среды неоспоримо доказано... Если эта жидкость и не является единственным источником всех наблюдаемых явлений, то она по меньшей мере должна их видоизменять, способствовать их передаче и осложнять их законы. Без допущения этого агента, присутствие которого неизбежно, невозможно достичь полного и рационального объяснения природы. Нет сомнения, что такое допущение, умело проведённое, позволит открыть тайну или истинную причину тех эффектов, которые приписываются теплоте, электричеству, магнетизму, всеобщему тяготению, сцеплению, химическим силам...». Свет Ламе уже считает объяснённым.

Грип в 1837 г. разработал в соответствии с принципами теории упругости динамическую теорию эфира, построив модель эфира, состоящего из центров, взаимодействующих с силами, зависящими от расстояния, причём радиус действия сил исчезающе мал по сравнению с длиной волны. Упругие силы, действующие в такой среде, зависят от двух констант: сжимаемости A и твёрдости (т. е. упругого сдвига) B . Грип предполагает, так же как и Френель, что упругость одинакова во всех средах.

В случае колебаний, происходящих в плоскости падения, возникают наряду с поперечными волнами сдвига и продольные волны сжатия. Однако Грип предполагает, что скорость этих последних по сравнению со скоростью поперечных волн бесконечно велика. Грип получил формулу синусов, а для случая колебаний в плоскости падения получил формулу, которая только в первом приближении, при не слишком большой преломляемости, переходит в формулу тангенсов Френеля.

Ф. Нейман отказался от принципа равенства упругостей (1835—1842) и выдвинул гипотезу равенства плотностей эфира в обеих средах. В этих предположениях им была получена формула Френеля для отражённой волны, с тем отличием, однако, что плоскость поляризации Френеля является у Неймана плоскостью колебаний, и формула синусов получается у Неймана для компонент, параллельных плоскости падения, а формула тангенсов — для компонент, перпендикулярных плоскости падения. В связи с этим возникла длительная дискуссия по вопросу о том, какая плоскость является плоскостью поляризации, т. е. плоскостью, в которой нет колебаний линейно-поляризованного света.

К тем же результатам, что и теория Неймана, приводит замечательная теория Мак-Келлога, развитая им в 1839 г. В этой теории Мак-Келлог резко порывает со всеми установившимися традициями в трактовке упругой среды и в частности светового эфира. В теории упругости рассматривается, как мы говорили, симметричный тензор деформации, шесть составляющих которого имеют вид

$$\begin{aligned} E_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x}, & E_{yy} &= \frac{\partial v}{\partial y}, & E_{zz} &= \frac{\partial w}{\partial z}, \\ E_{xy} &= E_{yx} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}, & E_{yz} &= E_{zy} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}, \\ E_{zx} &= E_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}, \end{aligned}$$

где u , v , w — компоненты смещения точки упругой среды.

Во всех предыдущих теориях (Коши, Грипа, Френеля) упругая среда рассматривалась, как среда консервативная, и потенциальная энергия точки явилась однородной квадратной функцией шести составляющих тензора деформации. Составляющие E_{xx} , E_{yy} , E_{zz} определяют деформацию растяжения и сжатия, а E_{xy} , E_{yz} , E_{zx} — сдвиг.

Мак-Келлог предполагает, что единственная деформация упругого эфира, осуществляемая в оптических процессах, — это не сдвиг и не сжатие, а *вращение*. Компоненты вращения выражаются формулами:

$$A_x = 2 \left(\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right); \quad A_y = 2 \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \right); \quad A_z = 2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right).$$

Отсюда Мак-Келлог получает волновые уравнения для компонента смещения, и, как оказалось, из уравнений Мак-Келлога можно получить уравнения, по форме совпадающие с уравнениями Максвелла¹.

Френелевские законы отражения и преломления вытекают из теории Мак-Келлога, с тем отмеченным уже нами отличием, что френелевская плоскость поляризации совпадает в теории Мак-Келлога с плоскостью колебаний.

Но теория Мак-Келлога не встретила сочувствия, именно в силу необычности своей основной посылки. Представление о среде с непрерывно вращающимися элементами и вместе с тем обеспечивающей процесс передачи поперечных волн с конечной скоростью казалось просто абсурдным. С другой стороны, и построить механическую модель эфира, не допускающую продольных волн и объясняющую громадную скорость света, также оказалось невозможным без допущения противоречия. Грин, как мы видели, должен был сделать предположение о бесконечной скорости волн сжатия, т. е. о бесконечно большом модуле сжатия эфира. Эфир должен был быть более несжимаемым и твердым, чем закалённая сталь. Это предположение трудно совместить с крайне сильной разреженностью эфира, которая проявляется в полном отсутствии сопротивления движению планет в эфире. Делались предположения, что, наоборот, эфир абсолютно сжимаем, так что скорость распространения продольных волн равняется нулю.

Но и это представление приводит к противоречиям, так как скорость упругих волн зависит не только от модуля сжатия, но и от модуля сдвига, и, для того чтобы она равнялась нулю, следует допустить отрицательный модуль сжатия, что обуславливает, в конечном счете, неустойчивость модели. Стокс считал возможным совместить гриновское представление об абсолютной твёрдости эфира с той несопротивляемостью движениям планет, которая более подходит идеальной жидкости. Эфир текуч для медленных деформаций и твёрд для быстрых, наподобие сапожного вара. Всё это ярко характеризует затруднения механической теории светового эфира, которые ещё более возрастают в теории двойного преломления. Динамические предпосылки френелевской теории не соответствуют механической теории анизотропной среды, развитой Грином и Коши.

Теория Мак-Келлога (и Неймана) приводит к формулам, подтверждаемым на опыте с такой же точностью, как и формула Френеля, с отличием, конечно, в отношении плоскости поляризации. Но сам Мак-Келлог справедливо отмечает, что «если потребовать подтвердить какими-либо аргументами гипотезы, на которых основывается предыдущая теория, то мы окажемся не в состоянии дать удовлетворительный ответ. Мы должны сознаться, что, за исключением закона живых сил, эти гипотезы — только удачные догадки».

Таким образом, можно констатировать, что динамической теории эфира, основы которой были бы свободны от возражений, в рассматриваемый период создать не удалось, хотя волновая кинематика описывала факты вполне удовлетворительно. В связи с этим Релей в конце XIX в. писал:

¹ Мак-Келлог, как замечает Клейн: «даёт принципиально новые основы френелевской теории, что тем более важно, что поскольку дело касается математических формул, они совершенно совпадают с электромагнитной теорией света». Это, по выражению Клейна, «своеобразное обстоятельство» — характерный пример диалектического влияния нового содержания в старую форму. То же самое *mutatis mutandis* можно заметить о выводах Гаусса и Римана, которые, цепляясь за формальный аппарат теории дальнего действия, пришли к выводам, предвосхищающим результаты теории Максвелла (конечная скорость распространения взаимодействия).

«Если настоящее положение теории двойного лучепреломления всё же не совсем удовлетворительно, то надо иметь в виду, что эта неопределённость не затрагивает общего принципа.

Почти всякая форма волновой теории, допускающая поперечные колебания, сможет объяснить основное явление, а именно раздвоение луча. *Можно с уверенностью предсказать, что когда обыкновенное преломление будет хорошо понято, то двойное преломление не представит больших трудностей».*

Итак, ещё не был понят механизм обыкновенного преломления, а перед теорией света вставали задачи объяснения дисперсии, флюоресценции, фосфоресценции, фотохимии. Разгадать эти явления можно было бы, только поняв связь эфира с весомой материей. И эфир, и атомы весомой материи оказались обладающими более сложными и гибкими свойствами, чем думали в XVII в.

В материи (включая и материю эфира) разыгрываются разнообразные процессы, подчиняющиеся закону сохранения и превращения энергии. Какова же эта материя?

Новые теории материи.

Мы упоминали, что Фарадей с сочувствием отзывался об идеях Босковича, понимая их, конечно, по-своему. Интерес к атомистике Босковича вообще характерен для рассматриваемого периода. Крушение невесомых и закон сохранения энергии приближали представление о единой материи, наделённой различными силами. Логически допустить существование центров разнообразных сил казалось теперь более ясным, чем допущение различных видов материи.

Бейсс-Баллот в 1849 г. выдвинул гипотезу о существовании материи и эфира; материя состоит из атомов, эфир может быть тоже состоит из атомов, которые должны быть значительно меньше атомов материи, а может быть и непрерывным. Атомы массы являются центрами притягательных и отталкивательных сил, зависящих от расстояния. Аналитически эта зависимость выражается знакопеременяющимся степенным рядом, графически характерной волнообразной кривой, положительные ординаты которой поочерёдно сменяются отрицательными и которая асимптотически приближается к оси абсцисс с возрастанием расстояния. Таким образом, тела могут быть в различных состояниях равновесия, в которых силы, действующие между атомами, равны нулю, и различным состояниям равновесия будут соответствовать различные агрегатные состояния тела. Но эти состояния могут быть нарушены в результате взаимодействия с другими атомами.

Так, при соприкосновении двух тел равновесие атомов нарушается, атомы приходят в состояние продольных колебаний, представляющих собой электричество и возбуждающих в эфире продольные волны лучистого электричества. Двух родов электричества нет, есть, может быть, два ряда волн; один, продвигающийся сущённым фронтом вперёд, другие — разреженным. Эти продольные колебания в телах могут производить изменение агрегатного состояния, химические изменения. Теплота вызывается поперечными колебаниями частиц, возбуждающими в эфире поперечные тепловые волны. То же относится и к свету. Степень теплового состояния определяется живой силой колеблющихся частиц.

В 1855 г. физик, физиолог и философ, автор известного психофизического закона Вебера — Фехнера, Густав Фехнер выпустил трактат «Теория атомов». Здесь он обосновывает абсолютную необходимость атомистики для физики. Из атомов должны состоять и весомая материя и носитель света, лучистой теплоты, электричества и магнетизма — эфир. Ато-

мистичность эфира требуется такими явлениями, как дисперсия света, что было показано в работах Коши; она, как показывает дискуссия Френеля — Пуассона, необходима для обоснования поперечности волн, короче говоря, атомистика эфира жизненно необходима для волновой оптики. Спасение электродинамической теории Ампера можно найти также только в атомистике, ибо допустить существование отдельных круговых токов в сплошной проводящей массе железа вообще невозможно.

Особенно веский материал для признания необходимости атомистики дают различные молекулярные явления: изменение агрегатных состояний, растворение, соединение, разложение, постоянство весовых отношений, изомерия. Нельзя понять такие явления, как существование правого и левого вращения кварца, виннокаменной соли и других веществ, во всем остальном химически и физически подобных. С атомистической же точки зрения ясно, что эти тела состоят из вполне одинаковых, но симметричных молекул, относящихся друг к другу, как левая перчатка к правой.

Но философия не допускает возможности неделимого и непрерывного. Физик и не возражает против возможности дальнейшего деления атомов. Ведь небесные тела по отношению к их взаимодействиям и движениям выступают как нечто цельное, неделимое. Физику нужны атомы для начала, и он не будет возражать против непрерывно заполненной среды.

Таким образом, весомая материя состоит из дискретных частиц, в промежутках между которыми находится частицы эфира. Находится ли между последними частицами пустота или некая непрерывная среда, — этот вопрос, по Фехнеру, не имеет физического смысла, так как присутствие такой среды не сказывается на физических явлениях. Точно так же, по мнению Фехнера, для физики не имеет также значения вопрос о разрушимости атомов, ибо, либо атомы «сами по себе не разрушимы, либо, по крайней мере в области химии и физики, не существуют средства для их разрушения, и нет оснований допускать, чтобы такое разрушение или разжижение стало когда-нибудь возможным».

Далее Фехнер указывает, что при существующем состоянии науки вопрос о размерах атомов не может быть решён, и даже неизвестно, поддаются ли они вообще измерению. Неизвестна форма атомов, неизвестен точный закон сил взаимодействия между атомами, не определено взаимоотношение эфира и материи. Можно только сказать, что эфир обладает совершенной упругостью и что его упругость и плотность в различных телах различна.

Переходя к развитию своей атомистики, Фехнер, несмотря на полемику с динамической теорией материи Канта, уходит от неё недалеко и по существу возвращается к концепции Босковича, Бейсс-Баллота. Метафизика ещё глубоко сидела в этих теориях материи и, как мы видим, Фехнер не в силах возвыситься до идеи развивающегося, разрушимого атома материи.

Этого мало, Фехнер вообще игнорирует вопрос о структуре атомов и объявляет их простыми образованиями, которые «можно назвать материальными точками, центрами сил, точечными напряжённостями, субстанциональными единицами, простыми реальностями, монадами — название в данном случае безразлично».

Перенося центр тяжести на силу, на движение, Фехнер докатывается до крайних идеалистических выводов о божьей, как закономерной связи мировых атомов, о психических единицах — душах и т. д. Понятно, что Маркс в письме к Кугельману с иронией отзывается о Бюхнере, Ланге, Дюринге, Фехнере, якобы похоронивших всерьёз дохлую собаку — Гегеля.

В том же духе динамизма строится и теория материи Грассмана Р., брата известного математика Германа Грассмана, в которой «последней сущностью» материи объявляются «ядра» или «зерна» центра сил. Центры притягательных сил — телесные «К-точки», центры притягательных и отталкивательных сил — «Э-точки». Э-точки образуют пару положительных и отрицательных центров, вращающихся один около другого наподобие двойных звёзд. Удалённые Э-пары с нейтрализованным действием образуют эфирную среду. К-точки, с атмосферой одинаково расположенных Э-пар, образуют «зёрна».

Их взаимодействием обусловлено химическое сродство, колебания зёрен дают теплоту, колебания Э-пар — свет, вращение Э-пар около центров зёрен порождает магнетизм.

Но не эти спекуляции отразили новые сдвиги в физическом учении о материи и движении. Физика пошла не по пути, намеченном немецкой идеалистической философией, а по пути Ломоносова, развивая до предельных возможностей программу механистического мировоззрения. Механическая теория тепла и кинетическая теория материи явились продуктом этих усилий.

3 октября 1848 г. на собрании Манчестерского философского общества Джоуль выступил с докладом «Некоторые замечания о теплоте и о строении упругих жидкостей». Этот доклад был напечатан в трудах «Общества» в ноябре 1851 г., и ввиду малой распространённости журнала он остался почти не известным на континенте.

В 1856 г. появилась работа Кренига «Очерки теории газов», за которой последовала работа Клаузиуса, вызвавшая новую публикацию доклада Джоуля в «Philosophical Magazine». Вслед за этими работами появились работы Максвелла, новые работы Клаузиуса, Лошмидта и других. Кинетическая теория газов была создана.

В своём докладе Джоуль, основываясь на опытах по определению механического эквивалента тепла, делает вывод, «что теплота и механическая сила обратимы одна в другую, и, следовательно, стало очевидно, что теплота является *vis viva* (живой силой) весомых частиц, либо некоторым состоянием притяжения или отталкивания, способным порождать *vis viva* (живую силу)».

Рассмотрев вкратце эксперименты по определению механического эквивалента тепла и в частности опыты по адиабатическому сжатию и разрежению воздуха, Джоуль заключает, что эти последние опыты «бросают свет на строение упругих жидкостей, так как они показывают, что теплота упругих жидкостей¹ представляет собою ту механическую силу, какой они обладают». И далее: «если известно, что температура газа определяет упругую силу, то отсюда следует, что *упругая сила, или давление, должны представлять собою эффект движения частиц, из которых составляется всякий газ*».

Сформулировав основную идею кинетической теории газов, Джоуль (не зная о работах Ломоносова) рассказывает о возможности объяснения закона Бойля-Мариотта, припаяв вместе с Дэви гипотезу о колебательном движении частиц. Он, однако, останавливается как на наиболее простой гипотезе Герапата (1821) о прямолинейном движении частиц газа и производит вычисление скорости движения частиц водорода, предполагая, что молекулы газа содержатся в объёме одного кубического фута при давлении 30 дюймов ртутного столба и температуре 60°. Он находит значение скорости

¹ Напомним, что в то время газы называли упругими жидкостями.

$v = 6225 \frac{\text{фут}}{\text{сек}}$. Далее он показывает, что при уменьшении объёма вдвое давление увеличивается также вдвое, указывает, что скорости должны относиться, как корни квадратные из температуры, и что, следовательно, скорость при 0°C должна быть $6055 \frac{\text{фут}}{\text{сек}}$. Абсолютный нуль температуры должен лежать на 491°F ниже температуры замерзания воды. Приписывая, что удельная теплота газа равна сумме живых сил его частиц, Джоуль вычисляет удельные теплоты газов и сравнивает их с экспериментальными данными Деляроша и Бера.

Отмечая расхождение вычислений с опытом, Джоуль всё же полагает, что это расхождение следует отнести за счёт несовершенства эксперимента и выражает надежду, «что исследования, предпринятые В. Реньо для французского правительства, охватят и важную проблему о теплоёмкости тел и что мы можем в скором времени ожидать новой серии определений удельных теплот газа, отличающейся всей той точностью, какой вполне заслуженно прославился этот замечательный исследователь».

Пока же Джоуль советует воздержаться от изменения теоретических основ динамической теории из-за её несоответствия опытным данным. Это — характерный пример утверждающей силы нового принципа энергии.

Кренинг в сочинении «Основы теории газов» (1856) также считает установленным, что теплота — род движения. Однако какова форма этого движения — ещё не ясно. Для идеальных газов можно построить модель, в которой молекулы рассматриваются, как упругие шары, движущиеся без взаимодействия равномерно и прямолинейно и взаимодействующие друг с другом только в момент столкновения. Исходя из этой модели, можно вычислить давление газа. С этой целью Кренинг рассматривает параллелепипед с рёбрами x , y , z и объёмом $v = xyz$, в котором все молекулы движутся с равными скоростями s параллельно рёбрам сосуда.

Кренинг считает, что при каждом ударе молекула сообщает стенке импульс mc , поэтому окончательная формула для давления у него имеет вид

$$P = \frac{1}{6} nmc^2 \frac{1}{v}$$

и закон Клапейрона $pv = \text{const} \cdot nt$. Таким образом, температура газа оказывается пропорциональной живой силе молекул газа.

После появления работы Кренинга выступил Клаузус со статьёй «О роде движения, который мы называем теплотой» (1857). Вводные замечания статьи интересны как документ о неизбежном возникновении и руководящей роли гипотезы, несмотря на противодействие формального метода принципов. Клаузус указывает, что в своих работах о механической теории тепла он, «чтобы исключить возможность какого-либо сомнения в их независимости от особых гипотез,... прилагал особое старание к тому, чтобы оставить совершенно незатронутым вопрос о роде движения, которое мы воспринимаем в качестве теплоты».

На самом же деле Клаузус руководился определёнными гипотезами. «Однако в действительности мои исследования не были столь свободны от мысли о некоторой гипотезе. Нашему уму свойственна потребность связывать общие понятия с частными представлениями, и потому уже в начале своих работ, относящихся к теплоте, я попыткаюсь разобраться во внутреннем состоянии движения нагретого тела и составил себе об этом некоторое представление, которое ещё до первой своей печатной работы о теплоте я применил к различным исследованиям и численным. Это представление

было настолько отлично от всего того, что я до сих пор слышал о воззрениях других физиков, что я его считал совершенно новым».

Традиция скрывать при публикации свои пути подход к задаче, облекать работы в строгую общепринятую форму физики принципов оказала на этот раз плохую услугу Клаузиусу. Его опередили Джоуль и Кренинг. Правда, Клаузиус мог утешиться мыслью, что и Джоуль имел более ранних предшественников, вплоть до Мукреция, причём в исторической справке по неведению отсутствует Ломоносов, однако всё же на новом этапе возрождения кинетических воззрений, на новом круге спирали, Клаузиус мог бы быть и первым. Но, с другой стороны, в своей работе он с большей отчётливостью и ясностью развил основные идеи кинетической теории газов.

Клаузиус исходит из идеи поступательного движения молекул газа: происходящие вследствие этого движения удары молекул о стенки обуславливают давление газа. Однако молекулы могут обладать и внутренним движением, как-то вращение молекул и колебательное движение внутри са их молекул. «Если даже ограничиться рассмотрением только весовых атомов и принять, что последние являются абсолютно неизменными, то все-таки ещё возможно, что молекула, состоящая из нескольких атомов, не образует уже абсолютно неизменной массы, но что отдельные атомы в ней способны двигаться в известных границах и, следовательно, могут колебаться друг относительно друга».

Клаузиус далее делает весьма проникательное допущение, что и в самых простых атомах может быть некоторое количество «более тонкой материи и что последняя, не отделяясь от атома, может поблизости от него совершать некоторые движения». Как мы теперь знаем, движения электронов в оболочке атома действительно имеют место.

Но, каковы бы ни были индивидуальные движения атомов и молекул, в окончательные результаты будут входить статистические средние величины. Это совершенно новая для физики идея, из которой разовьётся в дальнейшем статистическая механика, проводится Клаузиусом со всей отчётливостью. Он указывает прежде всего, что одним из результатов приложения статистических методов будет положение о постоянном отношении внутренних движений молекул к их поступательному движению, т. е., выражаясь определённо, энергия внутреннего движения составляет определённую долю энергии поступательного движения.

«Это не значит, — указывает Клаузиус, — что указанное определённое отношение между различными движениями наступает у каждой отдельной молекулы и что при дальнейших ударах оно остаётся неизменным: здесь речь идёт лишь о среднем значении, относящемся к очень большому количеству молекул, а именно о среднем значении живых сил движений». Индивидуальные столкновения поэтому могут проходить по различным законам, но когда в результате большого числа столкновений энергия поступательного движения в среднем остаётся неизменной, «то при исследовании совокупного действия большого количества молекул можно пренебречь неправильностями, имеющими место при отдельных столкновениях, и полагать, что по отношению к поступательному движению молекулы следуют общим законам упругости».

Этот статистический подход проводится и в объяснении давления газа. Как каждая молекула взаимодействует с молекулами стенки — дело случая, т. е. результат индивидуального столкновения, определяется настолько сложным переплетением различных условий, что учёт всех причинных связей становится невозможным, и мы называем такой результат случайным. Он, конечно, детерминирован с необходимостью, присущей и слу-

чаю» (Энгельс), но проследить все детали взаимодействий, его «определяющих, мы не в состоянии. Но зато результат огромного числа таких случайных взаимодействий со стенкой мы можем предсказать с значительной степенью вероятности, граничащей с достоверностью. «Можно принять, что после отражения молекулы в среднем обладают той же самой живой силой, какую они имели в момент налёта, и что среди отражённых молекул все направления движений по отношению к стенке представлены совершенно так же, как были представлены направления движения налетевших молекул».

Поэтому можно рассматривать, что каждое единичное столкновение совершается по закону упругого удара и что каждая молекула движется с одной и той же, неизменной при данных внешних условиях скоростью (точнее, с средней *квадратичной* скоростью, равной корню квадратному из среднего квадрата скоростей). Стенка при каждом ударе получает *удвоенное* количество движения молекул (по направлению нормали к стенке), а не просто количество движения, как полагал Крениг.

«Действие каждого отдельного удара вследствие малой массы молекул очень незначительно, но зато число ударов, приходящихся в течение единицы времени даже на самый малый элемент поверхности, доступный нашему наблюдению, очень велико. Отсюда для нашего восприятия создаётся ложное впечатление, будто стенка получает сообщённое ей количество движения не благодаря отдельным толчкам, а под влиянием постоянно действующей силы, направленной изнутри наружу. Эта сила и есть та самая, которую мы называем давлением».

Нетрудно обосновать пропорциональность давления плотности, если скорость движения молекул не меняется, т. е. закон Бойля—Мариотта. Уменьшение же скорости сказывается в двояком отношении; во-первых, увеличится число ударов; во-вторых, увеличится интенсивность каждого удара. Поэтому давление должно быть пропорционально *квадрату* скорости. «Если допустить, что абсолютная температура представляет собой меру живой силы поступательного движения молекул и, следовательно, что она пропорциональна квадрату скорости, то изложенный выше вывод приводит нас к закону Гей-Люссака».

Подсчёт, проведённый Клаузиусом в математических дополнениях к статье, приводит к известному выражению для давления

$$P = \frac{1}{3} N m u^2,$$

где N — число молекул в единице объёма, m — масса молекулы, u^2 — средний квадрат скорости движения молекул. Клаузиус устанавливает далее предпосылки, на которых зиждется закон Бойля — Мариотта — Гей-Люссака, т. е. раскрывает кинетическую модель идеального газа. Такая модель должна удовлетворять следующим трём условиям:

- 1) «Пространство, действительно заполненное молекулами газа, должно быть исчезающе мало по сравнению со всем пространством, занимаемым газом».
- 2) «Время одного столкновения... должно быть исчезающе мало по сравнению со временем, протекающим между двумя ударами».
- 3) «Влияние молекулярных сил должно быть исчезающе мало».

При несоблюдении этих условий должны быть отступления от законов идеального газа, и Клаузиус ожидал, что проведённые в 1847 г. исследования Реньо по поведению газов при сильных сжатиях должны дать определённые заключения о собственных объёмах газов. Однако эти ожи-

дания не оправдались, ибо интервал давлений, применяемых Реньо, был недостаточно велик.

Определённые заключения можно было сделать только на основе исследований, относящихся уже к семидесятым годам.

Рассмотрев кинетическую модель газа, Клаузиус останавливается на других агрегатных состояниях и устанавливает, что молекулы находятся в движении во всех трёх состояниях. «При *твёрдом* состоянии движение происходит таким образом, что молекулы движутся около известных положений равновесия, не оставляя последних окончательно до тех пор, пока на них не воздействуют посторонние силы. Таким образом, у твёрдых тел это движение можно было бы охарактеризовать как колебательное».

Клаузиус указывает, что это движение ещё не исчерпывает всей картины, так как могут ещё иметь место интрамолекулярные колебания и вращения молекул около колеблющихся центров тяжести.

«... В жидкости имеет место колебательное, вращательное и поступательное движение, но оно происходит таким образом, что под его влиянием молекулы не разбегаются во все стороны и даже при отсутствии какого-либо внешнего давления остаются в пределах определённого объёма».

Клаузиус, основываясь на своих представлениях, рассматривает далее кинетику испарения. Прежние представления об испарении основывались на допущении сил, действующих равномерно и непрерывно во всей массе жидкости. Клаузиус понимает испарение как статический процесс, основанный на флюктуациях скоростей молекул, «которые претерпевают очень большие изменения наиболее беспорядочным, подверженным случаю образом — от молекулы к молекуле, от момента к моменту — и которые подчиняются только общим законам вероятности».

В жидкостях «молекула при своём движении остаётся в среде притяжения соседних своих молекул или же, если она оставляет последние, то с тем, чтобы попасть в такое же положение по отношению к другим соседним молекулам».

«Однако это верно только для средних величин движения, а так как эти движения совершенно беспорядочны, то можно допустить, что скорости отдельных молекул в очень широких пределах отклоняются в обе стороны от среднего их значения».

В результате таких флюктуаций на поверхности жидкости создаются условия, при которых отдельные молекулы выходят из сферы притяжения соседних молекул жидкости, «испаряются». Образовавшиеся молекулы пара в свою очередь могут втягиваться внутрь жидкости, и в конце концов устанавливается динамическое равновесие между жидкостью и паром. «Это установившееся состояние равновесия не является состоянием покоя, а таким состоянием, при котором непрерывно происходит испарение и сгущение, причём оба эти процесса протекают с одинаковой интенсивностью и потому взаимно компенсируются».

Ясно, что плотность пара в таком установившемся состоянии будет вполне определённой величиной, определённой числом отрыва молекул от поверхности жидкости в единицу времени, а «это последнее число в свою очередь зависит от интенсивности движения внутри жидкости, т. е. от температуры последней». В том случае, если пространство над жидкостью занято газом, упругость пара, по закону Дальтона, должна остаться той же самой, как и в пустоте. Но этот закон, как справедливо замечает Клаузиус, представляет только описание явления, а не его объяснение. Кинетическое же объяснение явления заключается в том, что и в случае наличия газа над жидкостью его молекулы заполняют очень малую долю про-

пространства над жидкостью и последнее «можно считать пустым и свободно пронизываемым для молекул жидкости».

И насыщение пространства молекулами пара происходит «почти что одинаково во всех случаях, независимо от того, занято ли пространство сверх того ещё каким-либо газом или же нет».

Однако иные условия создаются в массе жидкости, условия, которыми определяется процесс кипения. В результате флюктуаций в массе жидкости могут образоваться замкнутые пространства, в которые будут испаряться молекулы жидкости, так «что возникшее благодаря этому внутреннее давление пара оказывается в состоянии уравновесить внешнее давление, стремящееся сжать образовавшийся пузырь. Таким образом, давление замкнутого газа должно быть тем больше, чем больше давление, под которым находится жидкость; отсюда становится ясной зависимость температуры кипения от давления».

Таким образом, Клаузиус даёт ясную физическую картину процессов, играющих важную роль в теплотехнике. Эмпирические законы получают прозрачное, наглядное истолкование. Клаузиус рассматривает далее работу газа, расширяющегося под давлением, работу газа в цилиндре с поршнем и показывает, что эта работа совершается за счёт уменьшения кинетической энергии молекул.

Мы пока не будем останавливаться на других результатах Клаузиуса, имеющих важное значение для атомной теории в химии, мы рассмотрим их несколько позже, когда специально вернёмся к вопросу об атомистике в химии. Здесь остановимся ещё на вопросе о внутренней энергии тел. Внутренняя энергия тел — это энергия движения молекул и атомов и потенциальная энергия их взаимодействия.

Внутренние силы взаимодействия в жидких и твёрдых телах играют большую роль, и потому при расширении таких тел «внешняя работа... обычно бывает незначительной, между тем как внутренняя работа может достигнуть значительной величины». Иное положение в газах. Здесь «взаимное притяжение молекул... очень незначительно, поэтому, при... удалении их друг от друга производится очень незначительная внутренняя работа; последнее оправдывается тем в большей степени, чем дальше газ находится от своей точки сгущения и чем, следовательно, его состояние больше приближается к состоянию совершенного¹ газа, у которого внутреннюю работу, произведённую при расширении, можно считать равной нулю».

Для таких газов из первого принципа термодинамики можно получить, что изменение внутренней энергии при нагревании газа при постоянном объёме равно

$$dU = c_v dT.$$

С другой стороны, кинетическая энергия молекул газа

$$K = \frac{nm\bar{u}^2}{2} = \frac{3}{2} \frac{p_0 v_0}{T_0} T = \frac{3}{2} RT$$

(между прочим, отсюда Клаузиус произвёл подсчёты средних квадратичных скоростей молекул газа при 0° С и нашёл для кислорода $u = 461$ м/сек, азота 402 м/сек, водорода 1844 м/сек).

Поэтому

$$dK = \frac{3}{2} R dT,$$

следовательно,

$$\frac{dK}{dU} = \frac{3}{2} \frac{R}{c_v},$$

¹ Т. е. идеального.

т. е. доля энергии поступательного движения молекул газа составляет определённую постоянную часть всей его внутренней энергии — результат, о котором мы уже говорили выше. Если воспользоваться уравнением Майера $R = c_p - c_v$, то

$$\frac{dK}{dU} = \frac{3}{2} \left(\frac{c_p}{c_v} - 1 \right).$$

Так, для двуатомных газов $\frac{c_p}{c_v} = 1,410$ и, следовательно, $\frac{dK}{dU} = 0,615$.

Для одноатомных газов $dK = dU$, для многоатомных $\frac{dK}{dU}$ будет тем меньше, чем больше атомов в молекуле. Так Клаузиусом были заложены основы классической теории теплоёмкости газов.

В следующей работе «О средней длине пути молекул газа» (1858) Клаузиус опровергает выставленное против кинетической теории газов возражение, что большие скорости молекул якобы противоречат фактам медленной скорости диффузии, распространения дыма и т. д. Основное понятие, с которым Клаузиус оперирует в этой работе, — это *сфера действия молекул*. Какова бы ни была природа молекулярных сил, во всяком случае, если отвлекаясь от сил химического сродства, следует, замечает Клаузиус, «различать две силы, а именно, нам придётся допустить, что при сближении двух молекул сначала действует сила притяжения, которая на некотором расстоянии становится уже заметной и затем по мере уменьшения расстояния растёт; но что в тот момент, когда молекулы приходят в непосредственное соприкосновение, возникает сила, которая стремится их отдалить друг от друга».

Будет ли эта отталкивательная сила силой контакта упругих твёрдых шаров или она проявляется ещё до контакта, этот вопрос остаётся открытым. «Равным образом, мы оставляем здесь без расследования вопрос о происхождении этих сил, а именно, следует ли обе эти силы приписать самим весовым частицам материи или же одну из них следует приписать некоторому более тонкому веществу, которым, быть может, наделены частицы материи».

Точно так же нет возможности установить — даже в предположении, что точный закон молекулярных сил известен, — что произойдёт при сближении центров молекул до некоторого расстояния x . Будут ли искривлены их пути, или они оттолкнутся, — всё это будет зависеть не только от сил, но и от величин и направления скоростей молекул. Однако можно определить некоторое *среднее* расстояние σ , такое, что если молекулы проходят на расстоянии, несколько большем σ , то под влиянием взаимного притяжения их пути искривятся, а при расстоянии, меньшем σ , они отскакивают друг от друга. «Если под *столкновением* двух молекул мы будем понимать только последний случай, оставляя без внимания изменения направлений, которые при больших расстояниях вызываются силой притяжения, то ... мы можем шар, описанный около центра тяжести молекулы радиусом, равным σ , называть *сферой действия* молекул».

Простую наглядную модель этого понятия мы получим, если уподобим молекулы упругим шарам. Тогда σ будет диаметром такого шара. Если предположить, что все молекулы неподвижны, кроме одной, центр которой движется со средней квадратичной скоростью u , то для средней длины пути можно легко получить выражение

$$l = \frac{v}{N\pi\sigma^2},$$

где v — объём, занятый газом, N — число молекул в этом объёме.

В своей работе Клаузиус ввёл другую характеристику для плотности распределения молекул, от которой, очевидно, зависит l . Если предположить, что молекулы размещены в объёме v по кубической системе и обозначить через λ расстояние между центрами молекул, тогда, очевидно,

$$\frac{v}{N} = \lambda^3,$$

где λ^3 — объём ячейки, в которой расположена одна молекула.

Длина свободного пробега

$$l = \frac{\lambda^3}{\pi \sigma^2}.$$

Если же учесть и движение всех молекул, то вероятность столкновений увеличивается, и Клаузиус без вычислений указывает, что вследствие этого длина пробега уменьшится в $\frac{3}{4}$ раза, так что окончательно

$$l = \frac{3}{4} \frac{\lambda^3}{\pi \sigma^2}.$$

Если ввести радиус молекулы (уподобляя их упругим шарикам) $\sigma = \frac{r}{2}$, то $v' = \frac{4}{3} N \pi r^3$ — объём самих молекул газа, а $N \lambda^3 = v$ — весь объём, занимаемый газом, тогда, очевидно,

$$\frac{l}{\frac{1}{4} v} = \frac{\lambda^3}{\frac{4}{3} \pi r^3} = \frac{v}{v'}.$$

Средняя длина свободного пути так относится к четверти радиуса молекулы, как весь объём, занимаемый газом, относится к объёму самих молекул.

В своих расчётах Клаузиус принимал, что все молекулы движутся с одной и той же средней (квадратичной) скоростью. Это допущение — ошибочно. Ошибка была исправлена Максвеллом в его докладе Британской ассоциации 21 сентября 1860 г. Доклад под заглавием «Пояснения к динамической теории газов» был опубликован в «Philosophical Magazine». Этой работой Максвелл заложил новый краеугольный камень в воздвигаемом здании физической статистики и кинетической теории газов.

В то время как философы-идеалисты типа Фехнера (а в дальнейшем Мах, Дюгем, Оствальд и др.) не верили в возможность физического обоснования атомистики и, в частности, определения молекулярных размеров, Максвелл указывал, что хотя в настоящее время нет средств для определения введённой Клаузиусом средней длины пути, знание которой даст возможность определить диаметр молекулы, «однако известные явления, как-то: внутреннее трение газов, прохождение теплоты через газ, а также взаимная диффузия газов, повидимому, указывает на возможность точного определения средней длины пути, проходимого молекулой в промежутке между двумя последовательными столкновениями».

Проницательный взор великого физика увидел в этих разнообразных явлениях общую физическую основу и понял их значение для обоснования новой теории. Впоследствии К. А. Тимирязев, а затем и А. Эйнштейн укажут на значение открытого ещё в 1827 г. ботаником Броуном явления для обоснования принципов молекулярной физики.

В первой своей работе Максвелл разбирает модель — систему «неопределённого количества малых, твёрдых и совершенно упругих шаров,

действующих друг на друга только во время столкновения». Новая физика, таким образом, начинает с наглядных образов и представлений, совершенно в духе Декарта. «Если окажется, — говорит Максвелл, — что свойства подобной системы тел соответствуют свойствам газов, то этим будет создана важная физическая аналогия, которая может привести к более правильному познанию свойств материи».

Любопытно, что эту картезианскую проблему Максвелл и с внешней стороны трактует в духе великих геометров XVII в. Работа построена из «Предложений», разрешаемых, по большей части, геометрическим путём. В первых трёх предложениях речь идёт об определении скоростей сталкивающихся шаров, и в частности в предложении II показывается, что все направления скорости после столкновения равновероятны.

В предложении IV ставится и решается знаменитая задача о распределении скоростей.

Предложение IV. Определить среднее число частиц, скорости которых лежат между заданными пределами, после большого числа столкновений между большим числом одинаковых частиц. И это предложение Максвелл разбирает в геометрическом духе, рассматривая «пространство скоростей», в котором каждая частица, обладающая скоростью v , изображается точкой с координатами x, y, z , где x, y, z — слагающие скорости v . Число частиц, слагающие скорости которых по оси x лежат в пределах от x до $x + dx$, равно $Nf(x)dx$; число частиц, слагающие ско-

рости которых по оси y лежат в пределах от y до $y + dy$, равно $Nf(y)dy$, и то же имеет место для оси z .

«Но существование скорости x никак не должно влиять на существование скоростей y или z , так как все они находятся под прямыми углами друг к другу и не зависят друг от друга», — постулирует Максвелл, и этот далеко не очевидный постулат вызывал сомнения и в правильности самого вывода.

Но в дальнейшем было улучшено и доказательство (Больцман), и закон Максвелла получил многочисленные экспериментальные подтверждения.

Для своей функции распределения Максвелл находит функциональное уравнение

$$f(x)f(y)f(z) = \varphi(x^2 + y^2 + z^2),$$

которое удовлетворяется, если положить

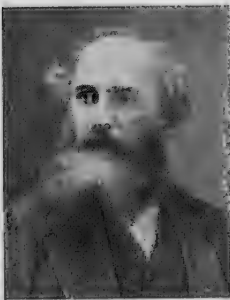
$$f(x) = Ce^{Ax^2}, \\ \varphi(r^2) = C^3e^{A_1r^2}.$$

Введя $A = -\frac{1}{a^2}$ и имея в виду, что

$$\int_{-\infty}^{+\infty} NCe^{-\frac{x^2}{a^2}} dx = N,$$

находим

$$C = \frac{1}{a\sqrt{\pi}}$$



Максвелл.

Таким образом: 1) число частиц, компоненты скорости которых по определённому направлению лежат в пределах от x до $x + dx$, равно

$$N \frac{1}{a \sqrt{\pi}} e^{-\frac{x^2}{a^2}} dx,$$

а число частиц, скорости которых лежат между v и $v + dv$, равно

$$N \frac{1}{a^3 \sqrt{\pi}} v^2 e^{-\frac{v^2}{a^2}} dv.$$

Это и есть знаменитый закон распределения Максвелла. Таким образом, после большого числа столкновений скорости шаров распределяются между ними так же, как по закону Гаусса распределяются случайные, независимые ошибки измерения. Существует, следовательно, наименее вероятная, наиболее часто встречающаяся скорость молекул, около которой и группируются по преимуществу все остальные скорости, так что скорости много большие или много меньшие вероятной встречаются очень редко.

Эта вероятная скорость и есть постоянная a . Средняя скорость и средний квадрат скорости связаны с a соотношениями:

$$c = \frac{2a}{\sqrt{\pi}},$$

средний квадрат

$$v^2 = \frac{3}{2} a^2 > c^2.$$

В предложении VI Максвелл доказывает, что в случае двух систем частиц, движущихся в одном и том же сосуде, средняя живая сила каждой частицы одинакова в обеих системах. Это очень важное предложение, из которого, в частности, вытекает закон Авогадро. Столкновения выравнивают кинетические энергии частиц.

В дальнейших предложениях Максвелл решает задачу о средней длине пробега и показывает, что с учётом распределения скоростей она будет выражаться не по Клаузиусу

$$l = \frac{3}{4} \frac{1}{N\pi\sigma^2},$$

где N — число молекул в единице объёма, σ — радиус сферы действия, а несколько иным выражением

$$l = \frac{1}{\sqrt{2} N\pi\sigma^2}.$$

В предложении XII Максвелл даёт новый способ подсчёта давления газов, учитывая взаимные столкновения молекул, характеризующиеся длиной свободного пробега l . Результат подсчёта приводит к формуле Клаузиуса

$$p = \frac{1}{3} N m \bar{v}^2.$$

Давление не зависит от длины свободного пути.

В предложении XIII Максвелл рассматривает внутреннее трение газов, механизм которого, по кинетической теории, заключается в пере-

носе количеств движения при различной скорости течения слоёв газа. Отсюда Максвелл находит величину коэффициента внутреннего трения равной

$$\mu = \frac{1}{3} \rho l v.$$

Но так как длина свободного пробега l обратно пропорциональна плотности ρ , то мы приходим к «замечательному выводу, что если изложенное здесь истолкование трения правильно, то коэффициент трения не зависит от плотности».

«Этот вывод из математической теории, — продолжает Максвелл, — является крайне поразительным, и единственный опыт, с которым я встретился в этой области, как будто не подтверждает его». Забегая вперед, скажем здесь, что опыт подтверждает вывод теории в тех областях температур и давлений, к которым вообще применимы выводы классической статистики.

Максвелл же в этой работе считал необходимым «сопоставить свою теорию с тем, что известно о диффузии газов и о прохождении теплоты через газ». Этой задаче посвящена вторая часть работы. Интересно, что если в первой части Максвелл поправлял Клаузиуса, то выводы Максвелла о диффузии и теплопроводности были поправлены и уточнены Клаузиусом. Эти поправки касались более полного учёта условий, имеющих место в различных слоях рассматриваемого газа, и не затрагивали принципа, согласно которому все эти так называемые «явления переноса» обусловлены тепловым движением молекул.

В связи с этим экспериментальное исследование указанных явлений весьма важно для теории. Как обстояло дело в этом отношении в рассматриваемый период?

Явления диффузии и осмоса жидкостей привлекали большое внимание физиков и химиков. Особенно важны были исследования Грэхэма, который пришёл к выводу о существовании двух классов растворов: кристаллоидов и коллоидов, причём эти растворы всегда могут быть разделены из-за различной скорости диффузии. Грэхэм (1834, 1846) исследовал и диффузию газов. Он установил следующий закон: «Скорость диффузии газов через пористую перегородку пропорциональна давлению, под которым газы находятся, и обратно пропорциональна корню квадратному из их плотностей».

Внутреннее трение газов Грэхэм изучал в 1846 и 1849 гг. по методу, предложенному Куайзейлем в 1840 г. для изучения внутреннего трения жидкости. Этот метод заключался в измерении скорости истечения по капиллярным трубкам. Максвелл и почти одновременно с ним Майер в 1866 г. исследовали внутреннее трение газов по методу, предложенному в 1803 г. Кулоном.

Изучались крутильные колебания горизонтального диска, затухание которых обуславливалось в значительной степени внутренним трением. Эти опыты привели Максвелла к выводу, что внутреннее трение не зависит от давления. Вместе с тем представлялась возможность, зная коэффициент внутреннего трения и плотность газа, определить длину свободного пробега.

Таким образом, началось вторжение в молекулярный мир, и уже в 1865 г. Лошмидт предпринял попытку определения числа и размеров молекул.

Величину $l \frac{\pi D^2}{4}$, где D — диаметр молекулы, а l — длина свобод-

ного пробега, можно назвать молекулярным объёмом пути. Если заметить

$$l = \frac{3}{4} \frac{\lambda^3}{\pi D^2},$$

то молекулярный объём пути всех молекул

$$\tau = \frac{3}{4} \frac{\lambda^3}{\pi D^2} \frac{\pi D^2}{4} N = \frac{3}{16} N \lambda^3 = \frac{3}{16} v.$$

Таким образом

$$\lambda^3 = \frac{16}{3} l \frac{\pi D^2}{4} > \frac{\pi D^3}{6},$$

т. е. больше объёма молекулы.

Множитель v , подобранный так, что $v\lambda^3 = \frac{\pi D^3}{6}$, Лопшидт назвал *множителем сгущения*. Очевидно, $D = 8v l$, и, следовательно, зная длину свободного пробега и этот множитель, можно определить диаметр молекулы D . Если предположить, что молекулы в жидком состоянии упакованы плотно, тогда множитель сгущения может быть определён из отношения плотности жидкости к плотности пара. Разумеется, это даст только верхнюю границу для D . Хотя l было определено только для воздуха, который в то время не был обращён в жидкость, однако Лопшидт косвенным путём нашёл

$$v = \frac{1}{1155} \text{ и } D = 1,18 \cdot 10^{-6} \text{ мм},$$

а это давало возможность определить число молекул в единице объёма которое и стали называть *числом Лопшидта*.

Атомная
теория в химии.

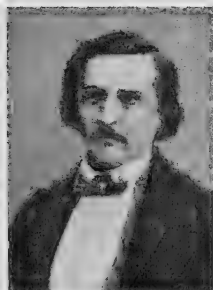
Несмотря на успехи, достигнутые молекулярно-атомной теорией в физике, новым идеям предстояла ещё длительная и напряжённая борьба за признание. Борьба развернулась в первую очередь в химии. И физики (Клаузиус и Максвелл) сыграли значительную роль в укреплении позиций атомистики в химии. Мы знаем, что основные законы химии: закон постоянства состава, закон кратных отношений и закон павё¹ допускают естественное истолкование с точки зрения атомных представлений, однако на них смотрели, как на эмпирические отношения, и вместо понятия атомный вес предпочитали пользоваться понятием эквивалентный вес. Химические формулы не выражали со своей определённой весового состава сложных веществ. Идея Авогадро и Ампера по истолкованию законов реагирующих объёмов Гей-Люссака не получили признания. Борьба за внедрение атомно-молекулярных представлений в химию развернулась снова в 40-х и 50-х годах. Эту борьбу начали Жерар и Клаузиус.

Когда Жерар (1816—1856) направлялся в Париж, знаменитый химик Либих предостерегал его: «Прежде всего будьте осторожны со своими теоретическими воззрениями, ибо академия — неумолимый враг теорий; она всегда была им». После того как Либих познакомился с первыми попытками Жерара применить молекулярную теорию в химии, он вновь писал:

¹ Закон павё гласит: если определённое весовое количество тела C соединяется с определённым весом тела A и, с другой стороны, с определённым весом тела B , то, в случае возможности реакций между A и B , весовые количества их будут равны или кратны тем весам, с которыми они реагируют с C .

«Поверьте моей опытности: для теорий нет более опасной почвы, чем Франция... Академия издавна считает только за собою право устанавливать законы науки и рассматривает как вора и разбойника всякого, кто делает это вместо неё; молодой человек, желающий заставить или заставляющий старых господ преподавать по его законам, не должен более рассчитывать на самый ничтожный успех».

Последняя цитадель шютонизма, французская академия, действительно продолжала ревностно охранять старые традиции. Английская и немецкая наука уже ушла вперёд, а французские учёные, цепляясь за былой престиж, воспитывали подозрение к теоретической мысли. Однако Жерар не послушался советов Либиха и продолжал разработку теоретических основ химии, которые и были изложены им в трактате по органической химии. Анализируя различные случаи углеводородных соединений, Жерар приходит к выводу, что весовые количества веществ, вступающих в химическую реакцию, занимают в газообразном состоянии равные объёмы. Так, например, 2 г водорода (приблизительно), вступая в реакцию с 71 г (приблизительно) хлора, образуют два объёма хлористого водорода, 2 г водорода занимают, по закону Жерара, такой же объём, как 71 г хлора, как 36,5 г газообразного хлористого водорода.



Жерар.

С точки зрения молекулярной теории это означает, что в равных объёмах газов при одинаковых условиях содержится равное количество молекул (гипотеза Авогадро).

Поэтому, сравнивая плотности газов и паров, можно сравнивать молекулярные веса. Из гипотезы Авогадро — Жерара вытекает ряд следствий. Плотность водяного пара в 9 раз больше плотности водорода, а плотность кислорода — в 16 раз. Опыт показывает, что 18 г водяного пара будут занимать такой же объём, как 2 г водорода. Таким образом молекулярный вес водорода будет в два раза больше его атомного веса,

Могут быть молекулы простых веществ, составленные из нескольких атомов. Эта мысль, высказанная ещё Авогадро и Ампером, была независимо от Жерара вновь выдвинута со всей определенностью Клаузиусом. «Я допускаю, — писал Клаузиус, — что сила, которая вызывает образование химических соединений и которая, вероятно, заключается в некотором виде полярности атомов, проявляется уже и в простых телах и что в последних тоже несколько атомов соединяются в одну молекулу». Эта гипотеза объясняет объёмные соотношения Гей-Люссака, и, как считал Клаузиус, с её помощью можно «все объёмные отношения газов свести к закону, согласно которому отдельные молекулы всех газов по отношению к своему поступательному движению обладают равной живой силой».

И, действительно, в этом случае получается закон Авогадро: в равных объёмах различных газов содержится одинаковое количество молекул.

Менделеев, приведя один из примеров того, как закон Авогадро — Жерара позволил установить наличие примеси в одной жидкости, восклицает: «Так следование за действительным законом природы помогает достигать правдивых выводов». Но тот же Д. И. Менделеев рассказывает, какое отношение встретила теория Жерара у руководящих химиков.

«В 50-х годах одни принимали $O = 8$, другие $O = 16$, если $H = 1$. Вода для первых была HO , перекись водорода HO_2 , для вторых, как ныне, вода H_2O , перекись водорода H_2O_2 или HO . Смута, сбивчивость господствовали. В 1860 г. химики всего света собрались в Карлсруэ для того, чтобы на конгрессе достичь соглашения, единообразия. Присутствовав на этом конгрессе, я хорошо помню, как велико было разногласие, как с величайшим достоинством охранялось корифеями науки условное согла-



Менделеев.

шение и как тогда последователи Жерара, во главе которых встал итальянский профессор Канниццаро, горячо проводили следствия закона Авогадро».

Однако химическая практика заставила приять закон Жерара и его метод определения атомных весов, неприятные предположения закона были забыты.

Новые жераровские веса атомов стали входить во всеобщее употребление.

«Таково свойство гипотез, — говорит Менделеев по поводу атомной теории в химии. — Они науке, и особенно её изучению, необходимы. Они дают стройность и простоту, каких без их допущения достичь трудно. Вся история наук это показывает. А потому можно смело сказать: лучше

держаться такой гипотезы, которая может оказаться со временем неверною, чем никакой. Гипотезы облегчают и делают правильною научную работу — отыскание истины, как плуг земледельца облегчает выращивание полезных растений».

Поэтому-то передовые деятели науки, в том числе и сам Д. И. Менделеев, поддерживали атомную гипотезу и развили её дальше. Одним из замечательнейших достижений атомной теории в химии была теория строения органических молекул, разработанная русским химиком Александром Михайловичем Бутлеровым (1828—1886). Атомистика превратила химию из сугубо эмпирической науки в стройную научную систему. Решающая роль в этой эволюции химии принадлежала Д. И. Менделееву. Химический атом, одинаковый в разнообразных химических превращениях, воспринимается как неизменный индивидуум с резко-отчерченными свойствами. Атомный вес, который так много помог в распутывании сложнейших химических реакций, естественно, со времён Дальтона рассматривался как первичная характеристика атома.

Абсолютно неперевратимые, абсолютно неизменные атомы, каждый со своим весом, который меняется от атома к атому без всякого закономерного порядка — скачком, такова была ведущая концепция в учении об атомах (см. выдержки из речи Максвелла в «Введении»).

Д. И. Менделеев, руководясь гипотезой, что свойства элементов должны зависеть от их атомных весов и, тем самым, бессознательно применив закон о переходе количеств в качество, пришёл к своему великому открытию. В 1869 г. вышли «Основы химии». В начале книги была помещена таблица:

Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и их химическом сродстве

				Ti=50	Zr=90	?=180
				V=51	Nb=94	Ta=182
				Cr=52	Mo=96	W=186
				Mn=55	Rb=104,4	Pt=197,4
				Fe=56	Ru=104,4	Ir=198
				Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199
				Cu=63,4	Ag=108	Hg=200
				Zn=65,2	Cd=112	
				?=68	U=116	Au=197?
				?=70	Sn=118	
				As=75	Sb=122	Bi=210?
				Se=79,4	Te=128?	
				Br=80	J=127	
				Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
				Sr=87,6	Ba=137	Pb=207
				Ce=92		
				La=94		
				Di=95		
				Th=118?		
H=1.	Be=9,4	Mg=24				
	B=11	Al=27,4				
	C=12	Si=28				
	N=14	P=31				
	O=16	S=32				
	F=19	Cl=35,5				
Li=7	Na=23	K=39				
		Ca=40				
		?=45				
		?Er=56				
		?Yt=60				
		?In=75,6				

Этим открытием завершалась старая атомистика, атомистика неизменного атома, атомистика, основанная на понятии атомного веса. Наступала пора новой атомистики, с изменчивым превратимым атомом, свойства которого определялись атомным номером в Менделеевской таблице. История этой новой атомистики составляет содержание нового этапа в развитии науки.

А. Классики марксизма-ленинизма

- В. И. Ленин, Материализм и эмпириокритицизм. Соч., т. 14.
 В. И. Ленин, Философские тетради.
 В. И. Ленин, О значении воиствующего материализма. Соч., т. 33.
 К. Маркс, Капитал, т. 1.
 К. Маркс, Святое семейство. Соч., т. 2, изд. 2.
 К. Маркс и Ф. Энгельс, Избранные произведения в двух томах.
 К. Маркс и Ф. Энгельс, Избранные письма.
 Ф. Энгельс, Анти-Дюринг.
 Ф. Энгельс, Диалектика природы.

Б. Первоисточники

1. Ампер, Электродинамика, АН СССР, «Классики науки», 1954.
2. Аристотель, Физика, Соцэкгиз, М., 1936.
3. Аристотель, Метафизика. Соцэкгиз, М.—Л., 1934.
«Аналитика», Госполитиздат, 1952.
4. Архимед, Стевин, Галилей, Паскаль, Начала гидростатики, ГТТИ, 1932.
5. Араго, Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров, пер. Д. Перевощикова, т. I, СПб, 1859; т. II, СПб, 1860; т. III, СПб, 1861.
6. Араго, Историческая записка о паровых машинах, СПб, 1861.
7. Бэкон, Жизнь Ньютона, пер. В. Ассонова, 1874.
8. Бруно Джорджано, Диалоги, Госполитиздат, 1949.
9. Бугер Пьер, Оптический трактат о градуации света, АН СССР, «Классики науки», 1950.
10. Бэкон Ф., Новый органон, Соцэкгиз, 1938.
11. Бэкон Ф., Сочинения в двух томах, пер. Библикова.
12. Леонардо да Винчи, Избранные произведения, АН СССР, «Классики науки», 1955.
13. Витрувий, Об архитектуре, Соцэкгиз, 1936.
14. Второй закон термодинамики. Сб. под ред. А. К. Тимирязева, ГТТИ, 1934.
15. Галилео Галилей (1564—1642). Сб., АН СССР, 1943.
16. Галилей, Соч., т. I, пер. Долгова, ГТТИ, 1934.
17. Галилей, Диалог о двух главнейших системах мира, ГТТИ, 1948.
18. Гальвани и Вольты, Избранные работы о животном электричестве, Биомедгиз, 1937.
19. Гаусс К. Ф., Избранные труды по земному магнетизму, АН СССР, «Классики естествознания», 1952.
20. Гегель, История философии, Соч., т. IX, X, XI, 1932—1935.
21. Гельмгольц, О сохранении силы, ГТТИ, 1934.
22. Гельмгольц, Популярныи речи, ч. I и II, СПб, 1896.
23. Герман фон Гельмгольц (1821—1891), Публичные лекции, читанные в Московском университете (А. Г. Столетов, Н. Е. Жуковский, Р. А. Колли и др.), М., 1892.
- 23а. Гильберт В., О магните, АН СССР, «Классики естествознания», 1956.
24. Гюйгенс Хр., Трактат о свете, ОНТИ, 1935.
25. Гюйгенс Хр., Три мемуара по механике, АН СССР, «Классики естествознания», 1951.
26. Даламбер Ж., Динамика, ГТТИ, 1950.
27. Дальтон, Сборник избранных работ по атомистике, Госхимиздат, 1940.
28. Декарт Р., Избранные произведения, Госполитиздат, 1950.

29. Декарт Р., Рассуждение о методе, АН СССР, «Классики науки», 1953.
30. Демокрит, Фрагменты, Соцэкгиз, 1935.
31. Дидро, Избранные философские произведения, Госполитиздат, 1941.
32. Кант И., Пролегомены, М., 1889.
33. Кант, Лаплас и др., Классические космогонические гипотезы, ГИЗ, 1923.
34. Карно С., Размышление о движущей силе огня, ГИЗ, 1923.
35. Клеро, Теория фигуры Земли, АН СССР, «Классики науки», 1947.
36. Коперник Н., Сборник к 400-летию со дня смерти, АН СССР, 1947.
37. Кузанский И., Избранные философские сочинения, Соцэкгиз, 1937.
38. Лагранж Ж., Аналитическая механика, т. I, II, 1950.
39. Лавлас, Опыт философии теории вероятностей, 1908.
40. Ленц Э. Х., Избранные труды, АН СССР, «Классики науки», 1950.
41. Ломоносов М. В., Собр. соч., т. I, II, III, IV, IX.
42. Лукреций, О природе вещей, АН СССР, «Классики науки», т. II, 1947.
43. Майер Р., Закон сохранения и превращения энергии, ГТТИ, 1933.
44. Максвелл. Речи и статьи, ГТТИ, 1940.
45. Материалист древней Греции, Госполитиздат, 1955.
46. Менделеев Д. И., Периодический закон, ГИЗ, 1923.
47. Менделеев Д. И., Основы химии, т. I и II, 1947.
48. Мешен и Делабур, Основы метрической десятичной системы, ГИЗ, 1926.
49. Ньютон И., Крылов А. И. Математические начала натуральной философии. Соч., т. VII, 1936.
50. Ньютон И., Математические работы, М.—Л., 1937.
51. Ньютон И., Оптика, ГИЗ, 1927.
52. Ньютон И., Лекции по оптике, АН СССР, «Классики науки», 1946.
53. Ньютон И., Оптические мемуары, УФН, т. VII, вып. II, 1927.
54. «Основатели кинетической теории материи». Сб. работ под ред. А. И. Тимирязева, ВНИИ, 1937.
55. Петров В. В., Известие о гальвани-вольтовых опытах, ОНТИ, 1936.
56. Планк М., Принципы сохранения энергии, ОНТИ, 1938.
57. Релей, Волновая теория света, ГТТИ, 1940.
58. Рيمان Б., Соч., ОГИЗ, 198.
59. Умов Н. А., Соч., т. III, М., 1916.
60. Эйлер Л., Письма о разных физических и философских материях, три тома, пер. Румовского, 1790.
61. Эйлер Л., Основа динамики точки, ОНТИ, 1938.
62. Эйлер Л., Методы нахождения кривых линий, ГТТИ, 1934.
63. Эппингс Ф. У. Т., Теория электричества и магнетизма, АН СССР, «Классики науки», 1951.
64. Фарадей М., Силы материи и их взаимоотношения, 1940.
65. Фарадей М., Избранные работы по электричеству, ГОНТИ, 1939.
66. Фарадей М., Экспериментальные исследования по электричеству, АН СССР, «Классики науки», т. I, 1947, т. II, 1951.
67. Фарадей М., Мысли о лучевых колебаниях, о физических линиях магнитной силы. Сб. «Из предистории радио», АН СССР, 1948.
68. Фрегель, О свете, ГИЗ, 1927.
69. Френель, Избранные труды по оптике, М., 1955.

В. Общие работы по истории науки

1. Бек Т., Очерки по истории машиностроения, ГТТИ, 1933.
2. Бёклей А., Краткая история естественных наук, М., 1907.
3. Берри А., Краткая история астрономии, ГТТИ, 1946.
4. Блох М. А., Хронология важнейших событий в области химии и смежных с нею дисциплин, 1940.
5. Бобыли В. В., Очерки по истории развития физико-математических знаний в России, ч. I и II, М., 1886.
6. Брегг, История электромагнетизма, ГТТИ, 1947.
7. Данилевский В. В., Русская техника, 1947.
8. Давидман Ф., История естествознания, т. I, Медгиз, 1932; т. II, ОНТИ, 1936; т. III, ОНТИ, 1936.
9. Дилльс, Античная техника, ОНТИ, 1934.
10. Дрэнсер, История умственного развития Европы, 2 т., Киев, 1895.
11. Дюгем, Физическая теория, её цель и строение, «Образование», 1910.

12. Зутер Г., История математических наук, СПб, 1905.
13. «История Московского университета», т. I, 1955.
13. «История России в XIX в.», изд. Гранат.
14. «История философии», т. I—II, Ин-т философии АН СССР.
15. «Итоги науки в теории и практике», т. I—III, изд. Гранат.
16. Клейн, Лекции о развитии математики в XIX столетии, ОНТИ, 1937.
17. Конфедератов И. Я., Очерк истории теплотехники, ОНТИ, 1937.
18. Кузнецов Б. Г., Очерки по истории русской науки, изд. АН СССР, 1940.
19. Кузнецов Б. Г., Развитие физической картины мира, ч. I, АН СССР, 1955.
20. Лавресс и Рамбо, История XIX века, Соцгиз, 1938.
21. Лакур и Аппель, Историческая физика, т. I, ГИЗ, 1929.
22. Лакур и Аппель, Историческая физика, т. II, 1908.
23. Ланге, История материализма.
- 23а. Лауэ М., История физики, ГТТИ, 1956.
24. Лебедев В. П., Исторические опыты по физике.
25. Лебедев В. П., Электричество, магнетизм и электротехника.
26. Ломоносов. Сб. статей и материалов, АН СССР, 1940.
27. Ломоносов. Сб. статей и материалов, т. II, АН СССР, 1946.
28. Лурье С. Я., Очерки по истории античной науки, АН СССР, 1947.
29. Любимов Н. А., История физики, ч. I, 1892; ч. II, 1894; ч. III, 1896.
30. Мах Э., Принципы сохранения работы, СПб, 1909.
31. Мах Э., Механика.
32. Меншуткин Б. П., Труды Ломоносова по физике и химии, АН СССР, 1936.
33. Меншуткин Б. П., Химия и пути её развития, АН СССР, 1937.
34. Нейгебауэр О., Лекции по истории античных математических наук, т. I, ОНТИ, 1937.
35. Ольшкки, История научной литературы на цовых языках, т. I—III, ОНТИ, 1936.
36. Оствальд, Великие люди.
37. Пекарский, Наука и литература при Петре I. СПб, 1862.
38. Пекарский, История императорской Академии наук, т. I—II.
39. Райков Б. Е., Очерки по истории гелиоцентрического мировоззрения в России, АН СССР, 1947.
40. Райнов Т. И., Наука в России XI—XVII вв., АН СССР, 1940.
41. Розенбергер Ф., История физики, ч. I, II, III (вып. 1, 2).
42. Талнери П., Исторические очерки развития естествознания, ГТТИ, 1934.
43. Талнери П., Первые шаги греческой науки.
44. Уэвелл, История индуктивных наук, т. I, II, III, СПб, 1867.
45. Филье, Светила науки от древности до наших дней.
46. Цейтц, История математики в древности и средние века, ОНТИ, 1932.
47. Цейтц, История математики в XVI и XVII вв.
48. Шевирев, История императорского Московского университета, 1855.
49. Хвольсон, Курс физики, т. I, 1897; т. II, 1898; т. III, 1899, т. IV, 1-я пол., 1914; т. IV, 2-я пол., 1915.

Г. Биографии и монографии, посвящённые отдельным учёным

1. Абрамов В. Я., М. Фарадей, изд. Ф. Павленкова.
2. Андроновы А. А. и Е. А., Лаплас, М., 1940.
3. Анцелиович Е. С., Леонардо да Винчи, Учпедгиз, 1955.
4. Анцелиович Е. С., Галилео Галилей, Учпедгиз, 1955.
5. Бачинский А. П., Жизнь Ломоносова и значение его трудов, М., 1912.
6. Биларский Н. С., Материалы к биографии Ломоносова, 1865.
7. Вавилов С. П., Исаак Ньютон, изд. 2, АН СССР, 1945.
8. Воронцов-Вельяминов Б. А., Лаплас, М., 1937.
9. Выгодский М. Я., Галилей и инквизиция, ГТТИ, 1934.
10. Гумилевский Л., Русские инженеры, 1947.
11. Давилевский В. В., Н. П. Ползунов, АН СССР, 1940.
12. Елисеев А. А., Василий Владимирович Петров, Госэнергоиздат.
13. Кудрявцев Б. Б., Василий Владимирович Петров, ГТТИ.
14. Кудрявцев Б. Б., М. В. Ломоносов, Учпедгиз, 1955.
15. Кудрявцев П. С., Исаак Ньютон, Учпедгиз, 1955.

16. Кузнецов Б. Г., Ломоносов—Лобачевский—Менделеев.
17. Крылов А. Н., И. Ньютон, АН СССР, 1943.
18. Крылов А. Н., Леонард Эйлер, АН СССР, 1933.
19. Ламанский В. И., Ломоносов и Петербургская Академия наук.
20. Лежнева О. А. и Ржонсницкий Б. И., Эмилий Христианович
Ленц, 1955.
21. Лурье С. Я., Архимед, АН СССР, 1945.
22. Маракуев И., Ньютон, изд. 4., М., 1908.
23. Мещуткин Б. И., М. В. Ломоносов. Жизнеописание, АН СССР,
1947.
24. «Исак Ньютон». Сб. к 300-летию со дня рождения, АН СССР, 1947.
25. Предтеченский Е. А., Иоган Кеплер, изд. Павленкова.
26. Радовский М. И., Веньямин Франклин.
27. Радовский М. И., Михаил Фарадей.
28. Радовский М. И., Борис Семёнович Якоби, Госэнергоиздат, 1953.
29. Стеклов В. А., Галилей, 1923.
30. Цейтлин З. А., Галилей.

Предисловие ко второму изданию	3
Введение	7—16
Предмет истории физики (7). Источник происхождения идей (7). Внутренняя логика развития науки (9). Абсолютная и относительная истина (10). Борьба материализма и идеализма в истории физики (13). Периодизация истории физики (15). Значение истории физики (16).	
Глава I. Античная натурфилософия	17—41
Развитие техники в первобытном и раннем рабовладельческом обществе. Начатки науки (17). Наука древнего Востока (20). Античная натурфилософия (21). Ионийская школа (23). Пифагорейская школа (24). Гераклит (25). Элеаты (26). Предшественники атомистики (29). Атомисты (31). Аристотель (36).	
Глава II. Выделение наук из натурфилософии	42—69
Исторические замечания (42). Технический прогресс (43). Изобретения Герона (48). Астрономия (53). Механика (56). Архимед (58). Оптика (63). Теплота и метеорология (66). Электричество и магнетизм (68). Заключительные замечания (69).	
Глава III. Физика средневековья	70—85
Наука и техника феодального Востока (70). Наука и техника в Европе в эпоху раннего средневековья (76). Европейская наука и техника в эпоху развитого феодализма (78). Рожер Бэкон (83).	
Глава IV. Зарождение новой науки	85—106
Характеристика Энгельса эпохи зарождения новой науки (82). Задачи и характер новой науки (87). Возникновение нового мировоззрения (89). Физика эпохи возникновения новой науки (100).	
Глава V. Галилей и его борьба за новое мировоззрение	106—136
Первые шаги (106). Изобретение трубы. Новые астрономические открытия (109). Результаты новых открытий. Начало открытой борьбы Галилея за новое мировоззрение (112). «Рассуждение о плавающих телах» и «О солнечных пятнах» (113). Выступление церковников. Перенос спора на теологическую почву (114). Письмо Галилея Кастелли (115). Первый процесс Галилея (116). Запрещение учения Коперника (117). Период от запрещения учения Коперника до выхода «Диалога» (118). Содержание «Диалога» (120). Основы мировоззрения Галилея по «Диалогу» (120). Второй процесс Галилея (127). Приговор и отречение (130). После процесса (134).	

Бэкон (136). Критика Бэконом старой философии (138). Метод Бэкона (140). Оценка философии Бэкона (143). Декарт (144). Система мира по Декарту (147). Гассенди и Гоббс (150). Заключение (152).

Глава VII. Период формирования новой физики (от Галилея до Ньютона) 154—200

Общая характеристика (154). Принципы динамики Галилея (157). Законы динамики Декарта (167). Теория удара (168). Тяготение (172). Маятник (176). Гидростатика и гидродинамика (179). Атмосферное давление (180). Теплота и метеорология (187). Электричество и магнетизм (189). Оптика (192).

Глава VIII. Ньютон 200—258

Введение (200). Жизнь Ньютона (201). Историческая обстановка в эпоху Ньютона (201). Детские и юношеские годы Ньютона (201). Кембридж (203). Болезнь Ньютона (205). Лондонский период (206). Труды Ньютона и его физические воззрения (208). Основные открытия Ньютона (208). Открытие исчисления бесконечно малых (208). Оптические исследования Ньютона (213). Оптика Ньютона и оптика Гюйгенса (220). Тяготение (222). «Начала» Ньютона (224). Предисловие Котса (224). Предисловие Ньютона (227). Масса и сила у Ньютона (228). Взгляды Ньютона на пространство и время (230). Ньютоновы законы движения (232). Содержание первых двух книг «Начал» (235). Ньютонианцы и картезианцы (245). Бентли и Котс (246). Третья книга «Начал» (247). Воззрения Ньютона на единство мира (249). Атомизм Ньютона и его учение о массе и инерции (250). Существенные свойства частиц. Сила и тяготение (251). Эфир и молекулярная физика (252). Метод Ньютона и его отношение к гипотезам (254). Оценка Ньютона (256).

Глава IX. Физика XVIII в. Ломоносов 259—357

Периодизация посленьютоновской физики (259). Технический прогресс (261). Тематика физики XVIII в. (274). Вопросы теории познания (274). Материя и движение (276). Механика (278). Теплота (292). Электричество (295). Оптика (305). Наука в России до Петра (306). Наука при Петре. Учреждение Академии наук (312). Годы учения Ломоносова (315). Начало академической деятельности (317). Первый период профессорской деятельности Ломоносова (320). Период 1750—1755 гг. (322). Период 1756—1765 гг. (328). Научные результаты Ломоносова и его физические воззрения (334). Петербургские академики — современники Ломоносова (350).

Глава X. От Ломоносова до Фарадея (1780—1830 гг.) 358—430

Вступительные замечания (358). Революционная реорганизация науки и техники во Франции (361). Обзор французской науки в предреволюционный период (367). Лаплас (376). Открытия Гальвани и Вольты (381). Первые успехи гальванизма (387). Газовые законы и атомистика (392). Теория тепла (396). Новые открытия в акустике и оптике (401). Открытие электромагнетизма и дальнейшие успехи гальванизма (418). Заключительные замечания (429).

Г л а в а XI. От Фарадея до Менделеева (1830—1869 гг.)	431—556
--	---------

Вступительные замечания (431). Жизнь Фарадея (433). Труды и воззрения (439). Характеристика воззрений Фарадея (459). Предпосылки к появлению закона сохранения энергии (461). Ленц (470). Майер (473). Гельмгольц (483). Экспериментальное обоснование закона. Джоуль (488). Возникновение термодинамики. Второе начало (493). Поиски элементарного закона электродинамики (497). Гаусс (497). Вебер (500). Закон индукции (501). Закон Вебера (503). Электрические измерения. Законы тока (506). Измерительные приборы. Технические приложения (510). Оптика (513). Скорость света (513). Скорость света и эфир (517). Дисперсия света. Развитие спектроскопии (518). Дальнейшие успехи экспериментальной волновой оптики (523). Исследование люминесценции. Фотохимия (528). Теории света (533). Новые теории материи (540). Кинетическая теория газов (542). Атомная теория в химии (553).

У к а з а т е л ь л и т е р а т у р ы	557—567
---	---------

Павел Степанович Кудрявцев

ИСТОРИЯ ФИЗИКИ, Т. I

Редактор *В. М. Дуков*

Обложка и титул художника *С. М. Мельцера*

Художественный редактор *М. Л. Фрам*

Технический редактор *Н. Н. Махова*

Корректор *М. В. Голубева*

Сдано в набор 21/IV 1956 г.

Подписано к печати 10/X 1956 г.

Формат 70×108^{1/16}. Печ. л. 35,25 (48,29).

Уч.-изд. л. 46,75. Тираж 25 тыс. экз. А-12617.

Учгедгиз. Москва, Чистые пруды, 6.

Типография «Красный Печатник».

Ленинград, Московский проспект, 91.

Заказ № 500. Цена без переплета 12 р. 60 к.

Переплет коленкоровый 1 р. 50 к.